医学研究生教学用书

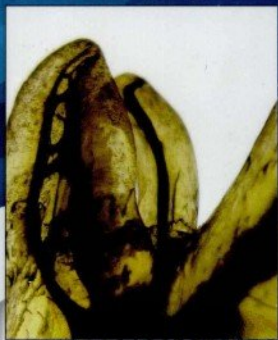
淘宝店名
悦览口腔电子书书铺

供口腔医学类专业用

SHIYONGYASUIQIANG
JIEPOUXUE

实用牙髓腔解剖学

主编 朱友家 杜昌连 陈作良



人民卫生出版社

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

VISIT…

LANZAROTE Caliente.com

策划编辑：刘红霞
责任编辑：李海凌　刘红霞
封面设计：永诚天地　代珊珊
版式设计：何美玲

实用牙髓腔解剖学

SHIYONGYASUIQIANG JIEPOUXUE

ISBN 978-7-117-16340-8
9 787117 163408 >
定价：　99.00　元

销售分类：口腔科学

人民卫生出版社网站：
门户网：www.pmph.com　出版物查询、网上书店
卫人网：www.ipmph.com　护士、医师、药师、中医师、卫生资格考试培训

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

全国高等学校医学研究生教学用书
供口腔医学类专业用

实用牙髓腔解剖学

主　编　朱友家　杜昌连　陈作良

编　者（以姓氏字母拼音为序）

Charles Lee *(University of Missouri School Dentistry)*
陈作良（厦门医学高等专科学校附属口腔医院）
杜昌连（武汉大学基础医学院）
Frank Weine *(Loyola University School of Dentistry)*
高　岩（北京大学口腔医学院）
James Dryden *(University of Missouri School Dentistry)*
李　波（武汉大学口腔医学院）
佘小伟（武汉大学中南医院）
Siqing Tang *(Vanderbilt University)*
魏明波（武汉大学中南医院）
杨　磊（武汉大学中南医院）
朱友家（武汉大学中南医院）

人民卫生出版社

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

图书在版编目（CIP）数据

实用牙髓腔解剖学/朱友家等主编．—北京：人民卫生出版社，2012.11

ISBN 978-7-117-16340-8

Ⅰ．①实… Ⅱ．①朱… Ⅲ．①牙髓腔－人体解剖学 Ⅳ．①R322.4

中国版本图书馆CIP数据核字（2012）第215236号

门户网：www.pmph.com 出版物查询、网上书店
卫人网：www.ipmph.com 护士、医师、药师、中医师、卫生资格考试培训

版权所有，侵权必究！

实用牙髓腔解剖学

主　　编：朱友家　杜昌连　陈作良
出版发行：人民卫生出版社（中继线010-59780011）
地　　址：北京市朝阳区潘家园南里19号
邮　　编：100021
E - mail：pmph@pmph.com
购书热线：010-67605754　010-65264830
　　　　　010-59787586　010-59787592
印　　刷：中国农业出版社印刷厂
经　　销：新华书店
开　　本：889×1194　1/16　　印张：17
字　　数：526千字
版　　次：2012年11月第1版　2012年11月第1版第1次印刷
标准书号：ISBN 978-7-117-16340-8/R·16341
定　　价：99.00元
打击盗版举报电话：010-59787491　E-mail：WQ@pmph.com
（凡属印装质量问题请与本社销售中心联系退换）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

前　言

牙的髓腔解剖与临床工作密切相关，也是牙体牙髓病专业领域学者们一直所关注的重要问题。随着研究方法的不断改进，对牙髓腔的解剖形态有了新的认识，这对临床工作有着重要的指导作用。到目前为止，无论是在发达国家还是在我国的教育体系中，牙髓腔解剖学的内容还隶属口腔解剖生理学或牙体解剖学。因此，有必要将牙髓腔解剖学独立出来，既有利于口腔专业研究生科研能力和临床技能的培养，也符合口腔医学教育发展的趋势。

根据口腔医学研究生的培养目标及课程设置的特点，本教材编写内容包括牙髓腔概论、牙的发育、牙髓牙本质的结构与功能、显示牙髓腔的方法、上下颌牙的髓腔形态、牙髓腔形态与根管治疗，共十二章，在内容上力求丰富，突出基础理论与临床应用的联系。同时书中的插图绝大部分是作者们自行制备或拍摄的实图，以图文并茂的形式全面介绍了髓室、根管系统、根尖孔和侧副孔的形态特点，图片形象、直观，使复杂的牙髓腔形态变得简明、生动，便于学生理解文字叙述。

为了保证研究生用书的整体质量，扩大影响力，出版社希望主编能够组织国内外知名专家学者共同进行编写，以汇聚国内外的优质资源，为此，我们邀请到 Loyola University School of Dentistry，Frank Weine 教授，University of Missouri School Dentistry，James Dryden 教授和 Charles Lee 教授，Vanderbilt University，Siqing Tang 教授，北京大学口腔医学院高岩教授，武汉大学口腔医学院李波博士。我们希望本书能够满足研究生学习要求，适合教学的编写思路，打造出符合现代教学理念和教学模式的研究生教学用书。

在本教材的编写过程中，吴光耀主任医师、杨莹硕士、周哲硕士、赵燕艳硕士、洪丽硕士、丁文杰硕士、龙明生硕士、韩阳平硕士在资料的收集整理、部分书稿的翻译及打印方面做了大量的工作，在此表示真诚的谢意。

本书主要供口腔医学专业硕士生使用，亦可作为博士研究生、相关科研人员及广大从事牙体牙髓病临床工作的医师使用。

实用牙髓腔解剖学在我国毕竟是一门发展中的学科，国内外目前尚无传统教材可供借鉴，并缺乏足够教学经验作为编写教材的依据，在编写上有一定的难度，更因主编水平有限，书中会有不少错误和不足之处，希望各校同道和同学们在使用教材的过程中，对所发现的问题和修改意见能及时提供给我们，以便作为修订教材时参考。

朱友家　杜昌连　陈作良

2012年6月于武汉

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

目录

第一章　牙髓腔概论 …… 1

第一节　牙髓腔的基本形态及特征 …… 1

一、髓室 …… 1

二、根管系统 …… 3

三、根尖孔与侧副孔 …… 15

第二节　牙组织增龄变化和病理性牙根吸收 …… 17

一、牙髓增龄期变化 …… 18

二、牙本质增龄期变化 …… 21

三、牙骨质增龄期变化 …… 22

四、病理性牙根吸收 …… 23

第二章　牙的发育 …… 27

第一节　牙的早期发育 …… 27

一、牙发育的蕾状期、帽状期和钟状期 …… 28

二、牙发育早期的临时性结构 …… 31

三、牙发育中上皮－间充质的相互作用 …… 31

四、牙发育的分子调控 …… 33

第二节　釉质的发生 …… 35

一、成釉细胞的生命周期 …… 35

二、发育中釉质的蛋白质 …… 39

三、釉质的矿化 …… 40

四、釉质形成缺陷 …… 40

第三节　牙本质的发生 …… 41

一、成牙本质细胞的分化 …… 41

二、牙本质基质的沉积 …… 42

三、牙本质的矿化 …… 42

第四节　牙髓的发育 …… 43

第五节　牙根的发育 …… 44

一、根部牙本质的形成 …… 44

二、根部牙本质形成异常 …… 46

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第三章 牙髓牙本质的结构与功能…… 48
第一节 牙髓的结构与功能……48
一、牙髓形态学分层……48
二、牙髓细胞……49
三、牙髓细胞间质……52
四、牙髓的代谢……53
五、牙髓的微循环……53
六、牙髓的神经支配……54
七、牙髓的修复……55
第二节 牙本质的结构与功能……56
一、牙本质的结构……57
二、牙本质有机基质……60
三、牙本质液和牙本质渗透性……64

第四章 显示牙髓腔的方法…… 65
第一节 显示牙髓腔的破坏性方法……65
一、透明法……65
二、磨片法和连续断层切片法……66
三、铸型法……67
四、组织切片法……67
第二节 显示牙髓腔的非破坏性方法……68
一、X 线根尖片技术……68
二、锥形束 CT 技术……81
三、Micro-CT 技术…… 107

第五章 上颌前牙髓腔形态…… 108
第一节 上颌中切牙髓腔形态…… 108
一、髓室…… 108
二、根管系统…… 109
三、根尖孔与侧孔…… 111
第二节 上颌侧切牙髓腔形态…… 112
一、髓室…… 112
二、根管系统…… 113
三、根尖孔与侧孔…… 115
第三节 上颌尖牙髓腔形态…… 115
一、髓室…… 115
二、根管系统…… 116

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

三、根尖孔与侧孔 …… 117

第六章 下颌前牙髓腔形态 …… 119
第一节 下颌中切牙髓腔形态 …… 119
一、髓室 …… 120
二、根管系统 …… 121
三、根尖孔与侧孔 …… 123
第二节 下颌侧切牙髓腔形态 …… 124
一、髓室 …… 124
二、根管系统 …… 124
三、根尖孔与侧孔 …… 128
第三节 下颌尖牙髓腔形态 …… 129
一、髓室 …… 129
二、根管系统 …… 130
三、根尖孔与侧孔 …… 132

第七章 上颌前磨牙髓腔形态 …… 133
第一节 上颌第一前磨牙髓腔形态 …… 133
一、髓室 …… 133
二、根管系统 …… 135
三、根尖孔与侧副孔 …… 140
第二节 上颌第二前磨牙髓腔形态 …… 141
一、髓室 …… 141
二、根管系统 …… 142
三、根尖孔与侧孔 …… 145

第八章 下颌前磨牙髓腔形态 …… 146
第一节 下颌第一前磨牙髓腔形态 …… 146
一、髓室 …… 146
二、根管系统 …… 148
三、根尖孔与侧孔 …… 152
第二节 下颌第二前磨牙髓腔形态 …… 153
一、髓室 …… 153
二、根管系统 …… 154
三、根尖孔与侧孔 …… 156

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第九章　上颌磨牙髓腔形态 …… 157
第一节　上颌第一磨牙髓腔形态 …… 157
一、髓室 …… 157
二、根管系统 …… 165
三、根尖孔与侧副孔 …… 169
第二节　上颌第二磨牙髓腔形态 …… 170
一、髓室 …… 171
二、根管系统 …… 174
三、根尖孔与侧副孔 …… 175
第三节　上颌第三磨牙髓腔形态 …… 176
一、髓室 …… 176
二、根管系统 …… 177
三、根尖孔与侧副孔 …… 180

第十章　下颌磨牙髓腔形态 …… 182
第一节　下颌第一磨牙髓腔形态 …… 182
一、髓室 …… 183
二、根管系统 …… 186
三、根尖孔与侧副孔 …… 189
第二节　下颌第二磨牙髓腔形态 …… 190
一、髓室 …… 190
二、根管系统 …… 194
三、根尖孔与侧副孔 …… 200
第三节　下颌第三磨牙髓腔形态 …… 201
一、髓室 …… 201
二、根管系统 …… 201
三、根尖孔与侧副孔 …… 205

第十一章　乳牙髓腔形态 …… 208
第一节　上颌乳前牙髓腔形态 …… 208
一、髓室 …… 209
二、根管系统 …… 210
三、根尖孔与侧孔 …… 211
第二节　下颌乳前牙髓腔形态 …… 211
一、髓室 …… 211
二、根管系统 …… 213
三、根尖孔与侧孔 …… 213

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第三节 上颌乳磨牙髓腔形态 …… 214
一、髓室 …… 214
二、根管系统 …… 216
三、根尖孔与侧副孔 …… 217
第四节 下颌乳磨牙髓腔形态 …… 217
一、髓室 …… 217
二、根管系统 …… 220
三、根尖孔与侧副孔 …… 221

第十二章 牙髓腔形态与根管治疗 …… 223
第一节 牙髓腔解剖形态与应用 …… 223
一、上颌前牙髓腔解剖特点与根管预备 …… 223
二、上颌前磨牙髓腔解剖特点与根管预备 …… 224
三、上颌磨牙髓腔解剖特点与根管预备 …… 224
四、下颌前牙髓腔解剖特点与根管预备 …… 225
五、下颌前磨牙髓腔解剖特点与根管预备 …… 225
六、下颌磨牙髓腔解剖特点与根管预备 …… 226
第二节 根管预备 …… 227
一、根管预备的工作长度、宽度和锥度 …… 228
二、根管预备的基本要求 …… 231
三、根管预备的方法 …… 232
四、根管预备的器械 …… 233
五、根管冲洗 …… 236
六、根管预备过程中发生的问题与对策 …… 236
第三节 根管充填 …… 242
一、根管充填的标准 …… 242
二、根管充填的时机 …… 243
三、根管充填的方法 …… 244
四、根管充填技术中的问题与对策 …… 246
五、根管充填失败的原因分析 …… 247
附典型病例 …… 248

参考文献 …… 256

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第一章

牙髓腔概论

牙齿属于消化系统的咀嚼器官，人一生中有两副牙齿（乳牙、恒牙），其中恒牙（permanent teeth）伴随人的生活历程久远，随着口腔卫生保健知识的普及和牙病诊治技术水平的日益提高，天然牙相伴终生已不是梦想。

恒牙若全部萌出共28～32颗，在外形上可分为切牙、尖牙、前磨牙和磨牙四种基本形态。每一牙均由牙冠、牙颈和牙根三部分构成；牙体组织由三种硬组织和一种软组织组成（图1-1）。三种硬组织分别是形成牙冠表层的“釉质”，覆盖牙根表面的“牙骨质”，构成牙主体的“牙本质”；软组织是位于由牙本质构成腔隙内的牙髓，其富含神经、血管及其他疏松结缔组织。

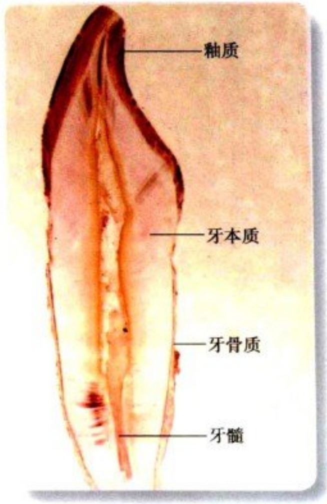


图1-1 牙体组织的组成

牙体的三种硬组织各有其生物学特点：釉质质地坚硬，它是体内矿化程度最高的硬组织，抗酸能力弱，易受局部因素影响发生脱矿，并且釉质组织量还随牙冠逐渐磨耗或磨损而渐进性减少；牙本质的硬度远低于釉质，但牙本质的量呈渐进性增加，这是因为除原发性牙本质外，继发性牙本质和（或）修复性牙本质的沉积终身均在进行，其结果是牙本质构成的髓腔壁不断增厚；牙骨质在理化特征上与机体的骨组织最为相似，而且终身处在动态平衡之中，它受牙体咬合功能和牙周组织的健康环境影响，一旦受累可致牙骨质破坏，牙体因失去纤维附着而脱落。

第一节　牙髓腔的基本形态及特征

在牙体的内部，牙本质围成了近似牙体外形的结构空间，称牙髓腔（pulp cavity）。牙髓腔由髓室（pulp chamber）、根管系统（root canal system）及根尖孔（apical foramen）组成（图1-2），有的牙尚有侧副孔。髓室位于牙体的牙冠和根颈（或根干）内部，其空间容积较大，完整的髓室具有六壁。根管位于牙根内部，它是牙髓腔形态最复杂的部分，因为一个牙根内可能不止一条根管，或者根管在行进中存在众多分支，所以人们引入了“根管系统”的概念。根尖孔是牙髓腔与牙体外连通的门户，其位置并非均在根尖顶点处，它可位于根尖的唇（颊）侧、舌侧、近中侧或远中侧；根尖孔的形态也并非全部呈圆形，而且根尖孔的最狭窄处与开口部位约有1mm的距离。

一、髓　室

髓室（pulp chamber）是牙髓腔的膨大部分，其主要部分位于牙体的根干内，完整的髓室结构形态有六壁，对着牙体𬌗面的是髓室顶，朝向牙体根方的是髓室底，另有4个与牙体长轴平行的是唇（颊）侧

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

髓壁、舌（腭）侧髓壁、近中髓壁和远中髓壁。前牙及部分前磨牙多无髓室底，髓室与根管互为移行，磨牙则有典型的六面髓壁（图 1-3）。

切牙髓室顶呈与切嵴平行的线状区，而磨牙髓室顶向根方凸起，最突出部位可与颈线平齐或低于颈线，髓室顶在对应的牙尖下方伸出与牙尖数相一致的髓角（图 1-3）。由于继发性牙本质的不断沉积，高龄者的髓角要低于青年人的髓角，在牙体预备或开髓治疗中应注意这一解剖特点。

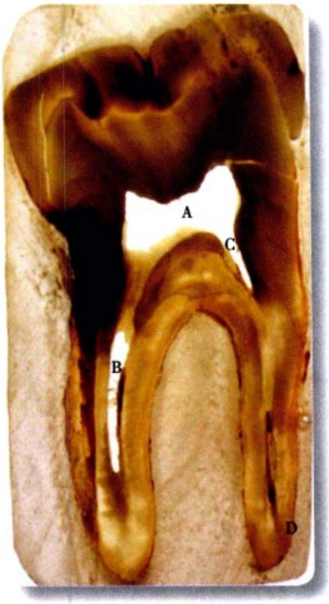
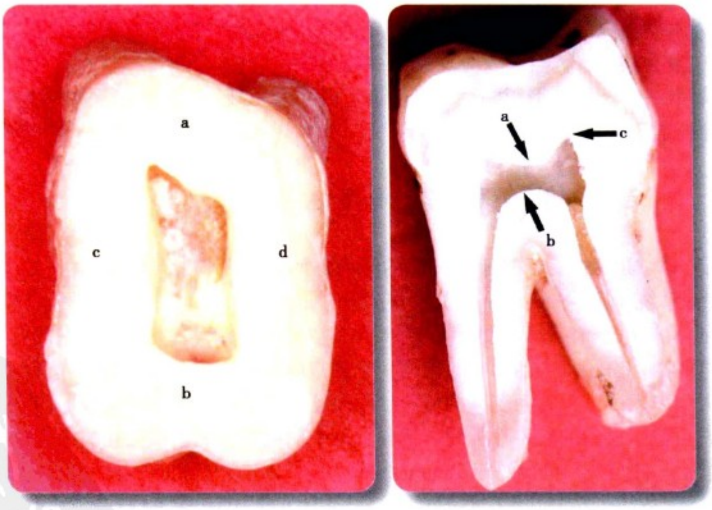


图 1-2　牙髓腔

（A）髓室（B）根管（C）根管口（D）根尖孔

与髓室顶相对的是髓室底，髓室底在牙体外的投影位于牙颈线以下，髓室底中部通常凸向牙冠船面，其底面有根管口（图 1-4，图 1-5）通向牙根管。根管口的数目与牙根内的根管数基本一致，根管口的形态呈圆形、卵圆形、条形和缝隙状等多种形态，但以前两种形态为主，这是根管治疗时器械易进入的基础。由于前牙和下颌前磨牙多无髓室底，髓室与根管直接延续，根管口在髓室与根管移行中就不十分明显。

近中髓壁、远中髓壁、唇（颊）侧髓壁和舌（腭）侧髓壁均与牙体的长轴平行，并与牙体相对应的轴面方位一致。两髓壁的转折处并无明显的界线，呈一种渐进式过渡形态（图 1-6）。由于个体和牙位间的差异，部分牙可见明显的四壁，部分牙则不典型。髓室顶和髓室底向髓室的空间部分隆凸，因而髓腔的四轴壁高度要较髓室顶－底间的距离大。髓壁腔面肉眼观平滑无痕，然而当用电镜放大数百倍后，可见继发性牙本质钙化形成的丘状隆起（图 1-7），球状的团块上布满牙本质小管，这些形态结构在牙髓感染时，为细菌的寄居提供了理想空间，同时又为感染物的清除和治疗增加了困难。



（A）　　（B）

图 1-3　髓室壁与髓角

（A）a. 颊侧髓壁　b. 舌侧髓壁　c. 近中髓壁　d. 远中髓壁

（B）a. 髓室顶　b. 髓室底　c. 髓角

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

微信公众号

口腔视频

微信搜索qzkqsp1即可关注

福利1

关注后可观看正畸、修复、种植等精彩内容

福利2

关注后领取口腔解剖病理学视频讲座全集

福利3

加入视频分享交流群，解答疑难病例，获取更多视频资源

扫二维码，关注公众号
领取更多口腔资料



图 1-4　髓室顶与髓室底的位置与形态

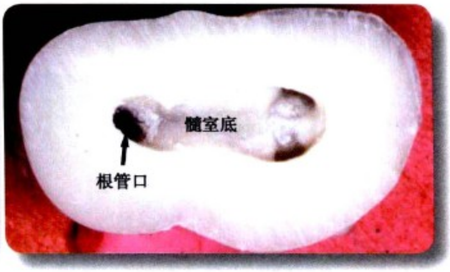


图 1-5　髓室底上的根管口



图 1-6　渐进式过渡髓壁

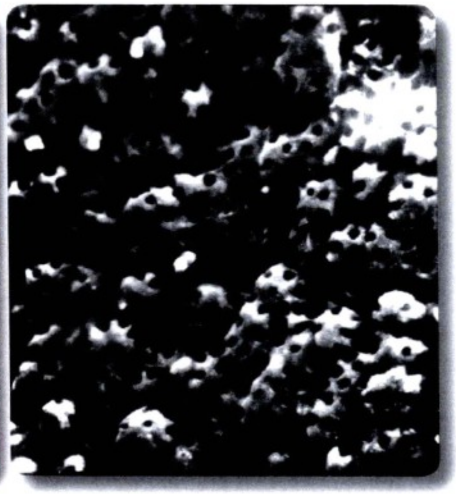


图 1-7　髓腔壁电镜观

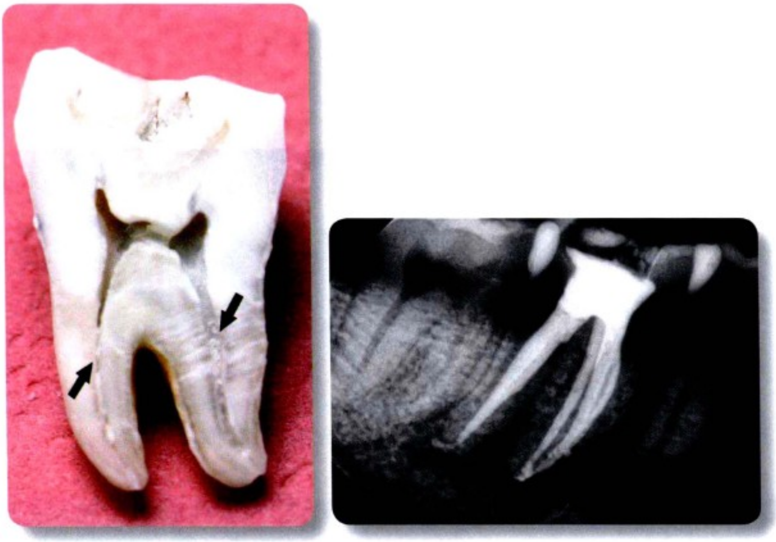
二、根 管 系 统

根管系统（root canal system）是髓腔除髓室以外的管道部分，由根管及侧副管组成。侧副管包括根管侧支、根尖分歧、根尖分叉、管间吻合、旁管及副根管，它们共同组成根管系统。

1. 根管（root canal） 为位于牙根内的大部分髓腔。根管起于根管口，贯通牙根，最后经根尖孔通向牙体外。以前人们认为牙根内只有一条或两条管道以容纳供给牙齿的血管和神经穿越，但随着对牙髓腔形态研究日益深入，结果发现根管形态远比想象的复杂，髓腔在牙根内至少有 1 条根管，也可以是 2 条管道或者更多（图 1-8）；牙根内的根管可以初始为 1 条管道，在行进中分为 2 条，或初始为 2 条，然后又合为 1 条管道通向牙体外；牙根内穿越行进的根管，可以先分后合，或先合后分，分分合合状似迷

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

宫，最后通向牙体外。这些都表明人们对髓腔的早期概念“髓腔是牙体外形的缩影”是不全面的，它只能代表髓室部分的描述。



（A）　　（B）

图 1-8　牙根内的根管

（A）磨片显示　（B）X 线显示

通常一个较圆的牙根内有一条与其外形相似的根管，但一个较扁的牙根内，则可能有 1 条根管、2 条根管或 1、2 条根管的混合形式，偶可见 1 个牙根内有 3 条根管。由于根管形态结构极其复杂，国内外对根管形态的分类有多种方法，目前有代表性的分类法有皮昕分类法和 Vertucci（1984）数字命名分类法。

皮昕等（1997～2006）根据中国人 5000 颗恒牙髓腔透明标本研究，将恒牙根管的形态分为四型（图 1-9）：

（1）单管型（single-canal type）：从髓室延伸至根尖孔为单一根管，由 1 个根尖孔通向牙体外。

（2）双管型（bicanal type）：从髓室延伸至根尖为 2 条分开的根管，由 2 个根尖孔或合并成 1 个根尖孔通向牙体外。

（3）单双管型（single-bicanal type）：1 条根管离开髓室，再分为 2 条根管（1-2 型）；或 2 条根管离开髓室，再合成 1 条根管（2-1 型），亦可再分而复合，合而复分，形成复杂的根管形态（如 1 条根管离开髓室，在根内分成 2 条根管，到根尖孔附近又合成 1 条根管，经 1 个根尖孔通向牙体外的 1-2-1 型；又如 2 条根管离开髓室，在根内合成 1 条根管，到根尖孔附近又分成 2 条根管，经 2 个根尖孔通向牙体外的 2-1-2 型，以及 1-2-1-2 型、2-1-2-1 型、2-1-2-1-2 型……），由 1 个或 2 个根尖孔通向牙体外。

（4）三管型（tricanal type）：1～3 条根管离开髓室，形成 3 条根管，由 3 个根尖孔通向牙体外；或其中 2 管先合成 1 管，再以 2 条根管分别开口于根尖，或 3 条根管至根尖合成 1 个根尖孔。

上述 4 型根管中，以单管型分布最广，遍及全口诸牙根，但出现率不一，其中上颌中切牙、上颌尖牙、上颌第一磨牙的腭根和上颌第二磨牙的腭根及远中颊根属单管型。双管型的分布范围仅次于单管型，除上述单管型外，其余牙根均可出现双管型。其中以上颌第一前磨牙、上颌第一磨牙的近中颊根和

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

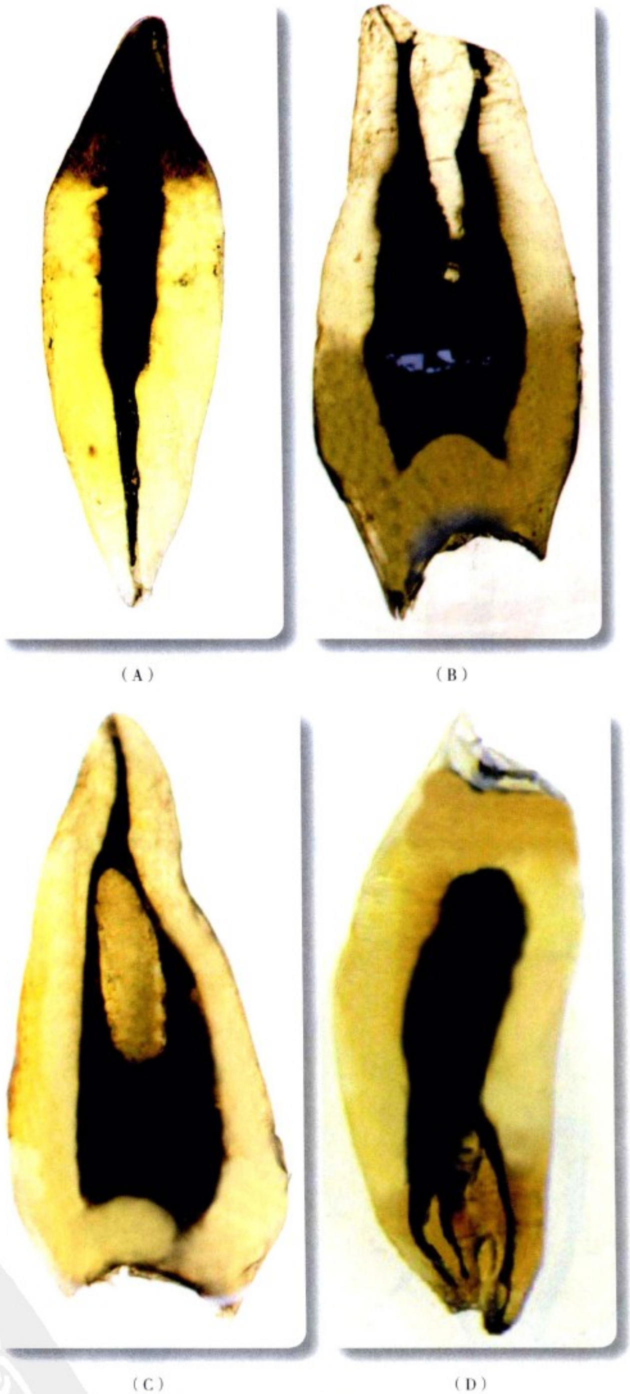


图 1-9　牙体透明显示根管形态
（A）单管型　（B）双管型　（C）单双管型　（D）三管型

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

下颌第一磨牙的近中根较为多见。单双管型可见于上下颌第一、第二前磨牙和上颌第一、第二磨牙的近颊根和下颌第一磨牙的近、远中根以及下颌第二磨牙的近中根。至于1个牙根出现3条根管者，罕见于上颌第一磨牙的近颊根和下颌第一磨牙的近、远中根，由于极为罕见，可视为变异型。

另一种根管分类的方法，是Vertucci（1984）提出的数字命名分类法（图1-10），它以牙根内的根管数目为依据进行归类分型，因此有很强的实用意义，具体如下：

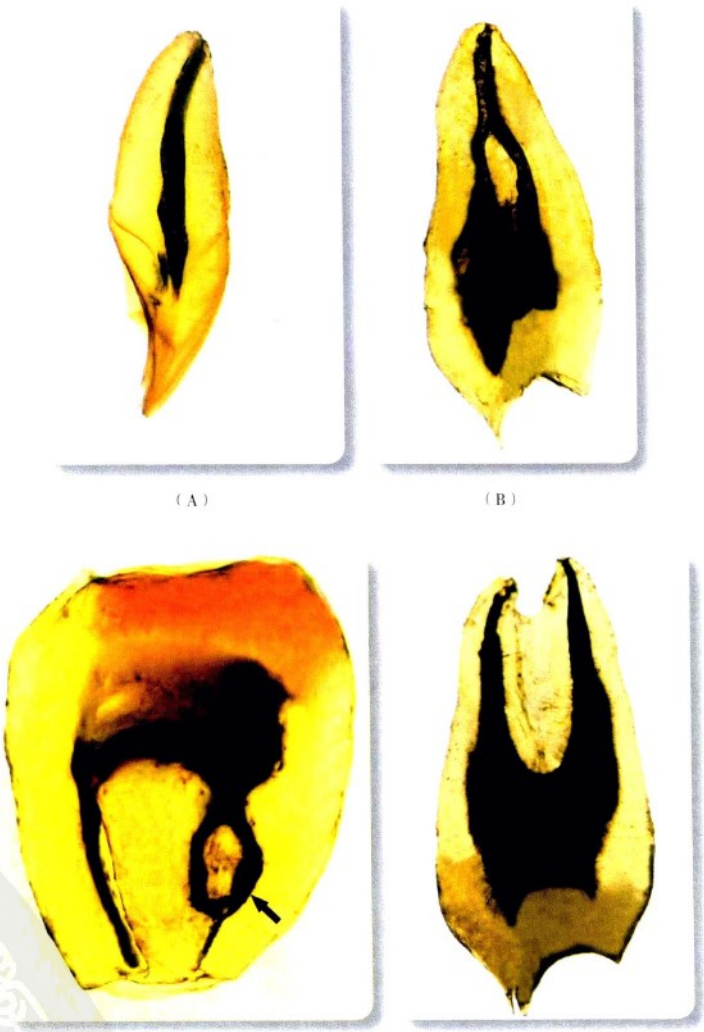
Ⅰ型（1-1）：从髓室延伸至根尖孔的单一根管，有一个根管口、一个根尖孔。

Ⅱ型（2-1）：由两条独立的根管离开髓室，中途融合成一条根管，只有一个根尖孔。

Ⅲ型（1-2-1）：由一条根管离开髓室，中途分成两条独立的根管，再融合为一条根管，只有一个根尖孔。

Ⅳ型（2-2）：两条根管离开髓室，始终为两条根管终止两个根尖孔。

Ⅴ型（1-2）：一条根管离开髓室，中途分成两条独立的根管，分别开口于两个根尖孔。



（A）　（B）　（C）　（D）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

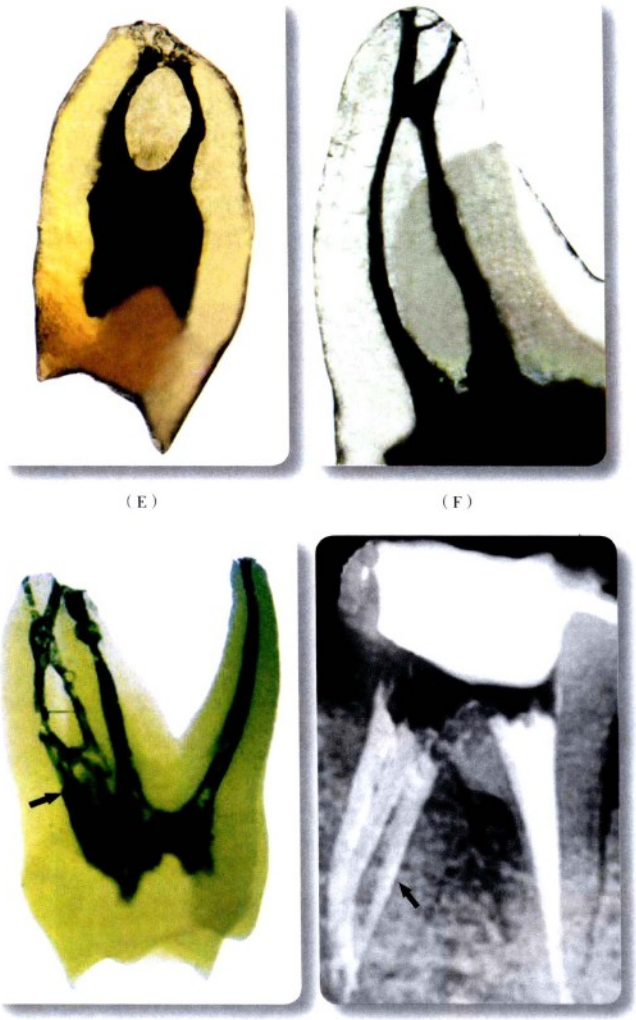


图 1-10　根管常见类型

（A）1-1 型　（B）2-1 型　（C）1-2-1 型　（D）2-2 型
（E）1-2 型　（F）2-1-2 型　（G）1-2-1-2 型　（H）3-3 型

Ⅵ型（2-1-2）：两条独立的根管离开髓室，中途融合成一条根管，再分成两条根管，分别开口于两个根尖孔。

Ⅶ型（1-2-1-2）：一条根管离开髓室，中途分成两条根管，再融合成一条根管，根尖段又分为两条根管，分别开口于两个根尖孔。

Ⅷ型（3-3）：三条根管离开髓室，三条根管分别开口于三个根尖孔。

Vertucci 根管分类法充分体现了根管的错综复杂性，对临床具有指导意义，至今仍被作为经典而在根管形态学研究中广泛应用。

根管的研究现在仍处在发展阶段，对根管的统一命名还有待完善，但不论哪种方法，应该好记好

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

用，合乎临床应用习惯才具有生命力。除了以穿越牙根内的根管数目进行分类、分型外，另外还有一些特殊形态的根管，人们无法采用常规的分类方法进行归类，如多见于下颌第二磨牙的C型根管或上颌前磨牙的哑铃型根管，这些均有必要重点描述。

C型根管：C型根管的概念最早见于比较人类学的研究中，Cooke（1979）等报道了下颌第二磨牙的牙根中有C型根管，于是引起了人们的兴趣，现在对该型根管的研究已有不少资料。所谓C型根管是由于近、远中牙根在颊侧融合，而舌侧仍保持原双根外形，牙根的整个形态呈沟槽状，故在髓室底上的根管口融合呈C形（图1-11）。实际上在C型根管形态划分中，还可以细分为多个类型，即C_1型（C型）、C_2型（分号型）和C_3型（分离型），在做这些类型的根管治疗时应引起足够的重视（图1-12）。



（A） （B）

图1-11 C型根管

（A）C型根管的根外形 （B）C型根管髓室底面观



（A） （B） （C）

图1-12 C型根管

（A）C型 （B）分号型 （C）分离型

哑铃型根管：多见于上颌第一前磨牙，其主要形态特点是在牙根横截面上根管展示为颊－腭两处宽大，而且颊－腭两管间有缝隙状连接（图1-13）；因此，在根管预备时，靠近牙体颊舌面处探入的器械可较为自由的活动，而位于牙体中部成缝隙状的根管部位则对器械的自由滑动有限制作用。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　　　　　　　　（B）

图 1-13　哑铃型根管的水平切面观

（A）硬组织切片　（B）牙根横断面

2. 侧副管（lateral accessory canal）　所谓侧副管系指根管以外的所有细小管道或狭窄腔隙，这些非根管结构又可细分为 6 类，包括根管侧支、根尖分歧、根尖分叉、管间吻合、旁管以及副根管。根管治疗中的重要步骤之一是彻底清除根管系统中的感染物，而侧副管细小，分布又不规律，给临床诊治带来困难。此外，由于侧副管是牙髓牙周联系的途径，故在牙髓牙周综合征治疗中应加以重视。

（1）根管侧支（lateral canal）：为主根管在根尖 1/3、根中 1/3 和根颈 1/3 处发出的细小分支。根尖 1/3 的根管侧支多于根中 1/3，根颈 1/3 者最少。这些细小分支部分与根管呈接近垂直的角度，贯穿牙本质和牙骨质，通向牙周膜（图 1-14）。根管侧支是根管系统中较常见的结构形态，它的出现率为 29.7%。

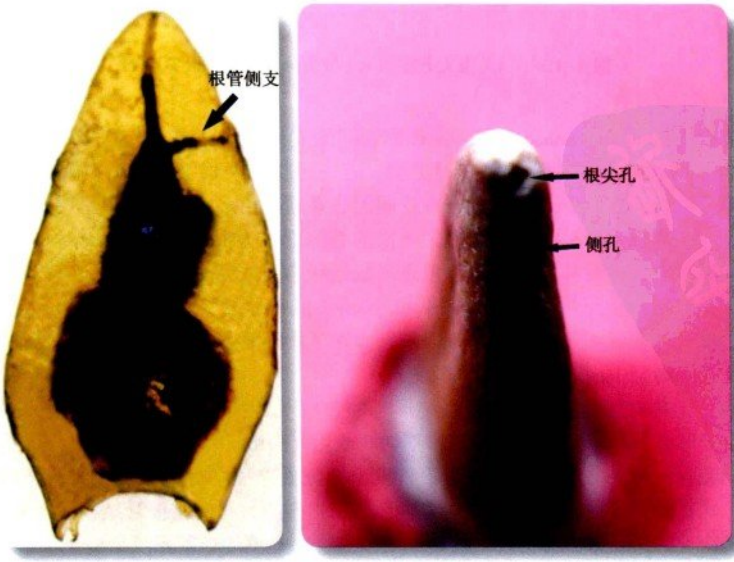


图 1-14　根管侧支与侧孔

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

（2）根尖分歧（apical ramification）：位于根尖 1/3 处，由根管末端分出的细小分支，此时根管仍存在，根尖分歧较多见于前磨牙和磨牙，一般有一条或多条不等［图 1–15（A）］，它们均开口于根尖侧面的侧孔。根尖分歧在 6 种特殊形态中约占 5%，也是根管预备中难以清理和封闭的腔隙。

（3）根尖分叉（apical furcation）：为根管在根尖分成 2 条或 2 条以上的细小分支，此时根管不复存在。根尖分叉与根尖分歧的位置完全一样，它们的形态差异主要表现在分叉处的根管有无主次。根管末段的细小分支没有主次间的差异称根尖分叉［图 1–15（B）］，在实际应用中分叉与分歧并没有临床意义上的差别。根尖分叉的发生率较根尖分歧高，统计显示在人群中可达 7.7%。

另有一种形态为根尖 delta，又称根尖三角洲［图 1–15（C）］，为根尖分歧或根尖分叉的管道穿过根尖部牙本质和牙骨质所形成的结构，在纵剖面上呈三角形，国外文献称其为根尖三角洲（apical delta）。



（A） （B） （C）

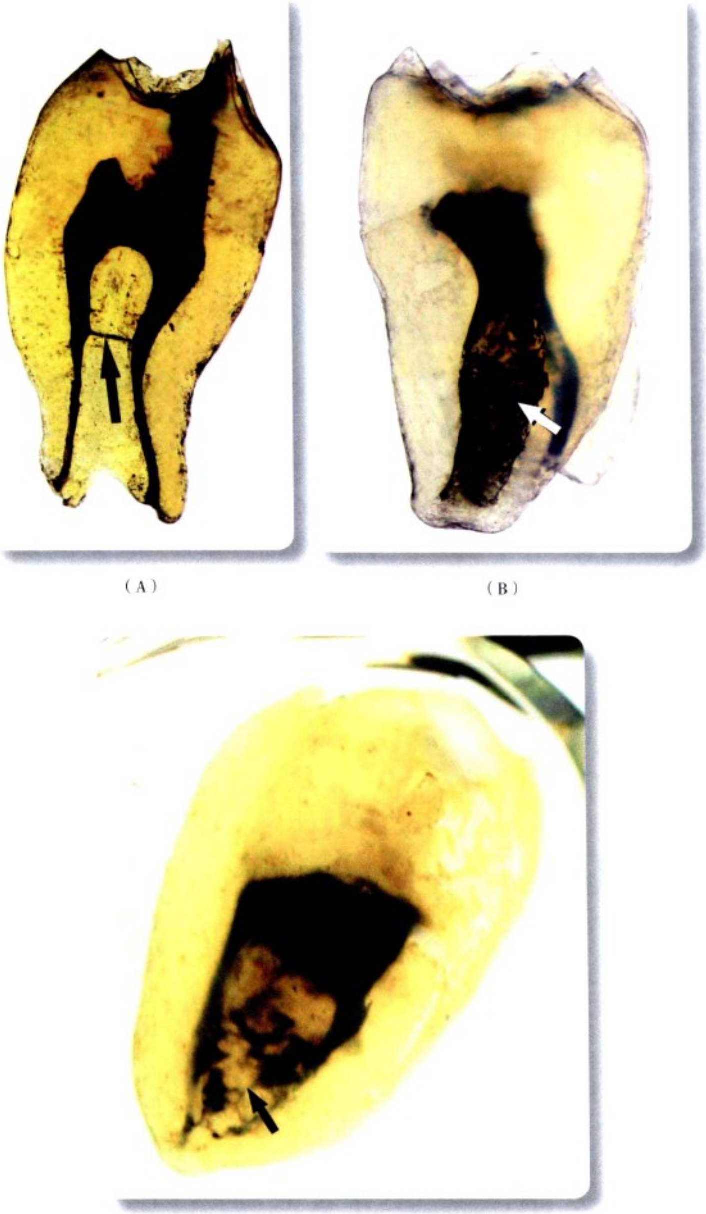
图 1–15 （A）根尖分歧 （B）根尖分叉 （C）根尖 delta

（4）管间吻合（intercanal anastomoses）：曾称管间侧支或管间交通支，根据结构及形态的不同，将其分为单一吻合、网状吻合和根管峡等三种类型。若一牙根内两根管间为一至数支呈水平或弧形的交通隧道则称为单一吻合［图 1–16（A）］；若根管间的联系通道由多条细小隧道呈网状分布则称为网状吻合［图 1–16（B）］；若联系两根管间的隧道为狭窄的缝隙则称为根管峡［图 1–16（C）］。峡的空间形态呈薄片状，且缝隙狭窄，这种狭窄的通道可以是半联通状态，或完全联通状态，其内组织成分可以是牙髓组织，也可以是牙髓衍生组织（pupally derived tissue）或类牙髓组织。根管峡由于空间狭窄，在 X 线上的对比灰度常被牙体硬组织遮盖，所以难以判别，除了用根管显微镜外，很难用其他方法在活体上诊断，因此，它是管间吻合中最为复杂的一种形态。

管间吻合多见于单双管型，约占根管系统形态的 8%，发生于根中 1/3 的多于根尖 1/3，根颈 1/3 最少。管间吻合由于形态特殊，常导致根管治疗不彻底或治疗失败。

（5）旁管：旁管的形态较为特殊，在主根管发出的侧支先独立行走一段距离后又折回汇入主根管，似根管侧支但无侧孔通向牙周，似管间吻合又缺乏与之相连的另一侧主根管结构，因而命名旁管。由于形态和位置均较特殊，在临床根管治疗中这是一类很难严密充填的根管系统结构。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　（B）

（C）

图 1–16　管间吻合

（A）单一吻合　（B）网状吻合　（C）根管峡

（6）副根管（accessory root canal）：也是侧副管的一种类型，所不同的是副根管多起于髓室底，穿越牙体硬组织后，经根分叉处的表面开口而连通牙体外或在根颈 1/3 的任意位置通向牙体外，开口处称副

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

孔（图 1–17）。副根管的出现率国内外报道差别很大，Rubach（1984）在经组织解剖学研究后指出，人群中约 15% 的个体有副根管存在，国人则没有这样高的比例，国内有资料报道副根管不足 1%；有些牙体从外观看似乎存在副孔，其实多为不通髓室的盲孔（图 1–18）。

根管系统内部连接处的名称：根管和副根管在髓室的移行处，分别称为根管口和副根管口；根管侧支、根尖分歧或根尖分叉在根管的连接处，分别称为根管侧支口、根尖分歧口或根尖分叉口。



（A）



（B）

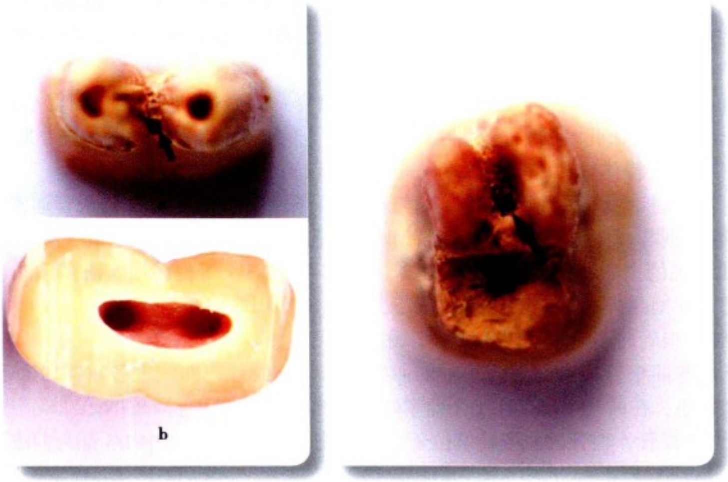


（C）

图 1–17　副根管

（A）透明牙显示副根管　（B）分别显示副孔、副根管口及副根管走向　（C）X 线显示根管与副根管走向

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　　　　　　　　　　　　（B）

图 1-18　盲孔

（A）a. 根面观：不通髓室的盲孔　b. 髓室底横截面观：髓室底未见副根管口

（B）不通髓室的盲孔

根管系统在牙表面开口的名称：根管在牙根表面开口称为根尖孔。副根管在牙根表面的开口称为副孔，其余管道的开口称为侧孔。侧孔和副孔合称为侧副孔。根尖孔以位居根尖者较多（57%）；位于根尖旁侧者较少（43%）。其中以舌（腭）侧者较多，其余依次为远中、近中和唇、颊侧。

必须提及的是，虽然根管系统的形态已在前文述及，但要正确理解还必须注意以下两点：

（1）上述根管系统中，除根管是每个牙均恒定存在外，其余各部分变化较大，如：①某些牙仅有根管而无根管系统的其他部分；②有的牙具有根管和根管侧支或根尖分歧；③有的牙具有根管和管间吻合或根尖分叉或副根管；④某些牙既具有根管和根管侧支，又具有根尖分歧或旁管；⑤有的牙既具有根管和管间吻合，又具有根管侧支和根尖分歧，但尚未见到一个牙内具有全部根管系统者。因此，根管系统是指全口牙而言。

（2）虽然研究髓腔解剖的仪器和方法较多，如 Micro-CT、锥形束 CT 和铸型法等，但髓腔透明法仍是目前显示根管系统较好的、较节约的方法之一，它可以从不同角度显示根管系统真实的立体形态，这是多数牙体剖面标本难以显示的。

综上所述，由于根管系统的存在，通过根尖孔和侧副孔，使牙髓和牙周组织联系密切；但另一方面，却成为牙髓病和牙周病互相传播的途径。即牙髓病可通过根尖孔或根分叉处副根管的副孔或根管侧支、根尖分歧和根尖分叉的侧孔引起牙周病，反之亦然。复杂的根管系统尚可影响根管治疗的效果。因此，熟悉根管系统的解剖形态，具有重要的临床意义。

3. 根管弯曲程度及分型　穿行在牙根内的根管并非都与牙根的延伸方向一致，除了部分根管呈竖直穿行外，多数根管均有不同程度的弯曲。在实际应用中弯曲度≤5°的根管均视为直根管。测量根管弯曲多使用 Schneider 法或 Schneider 改良法，测量过程如图 1-19 所示，将欲测量根管的牙体揭去髓室顶后，用根管锉从根管口方向插入根管

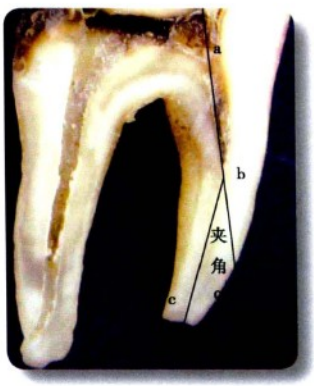


图 1-19　根管弯曲程度测量示意图

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

内，直至根管锉深入受阻，然后把插入有根管锉的牙体置于 X 线下摄平行牙根影像；在影像中根管口处定点 a，在根管锉偏离直线处定点 b，在该牙的根尖孔处定点 c，然后在 a–b 间和 b–c 间连线，两线段的交叉夹角即为“根管弯曲度”。

根管的弯曲程度通常分为三类，其中Ⅰ类弯曲的根管夹角≤5°，它们因弯曲度小而归在直根管类；当 5°＜夹角≤20° 以内时，此时的根管弯曲归为Ⅱ类；当形成的夹角＞20° 时则归为Ⅲ 类。在临床实践中Ⅲ 类弯曲的根管治疗操作较为困难，治疗失败率相对较高。

有学者认为单纯讨论根管弯曲的程度，其临床意义有限，因为单一弯曲的根管通常使用柔性的扩管器械多能完成预备处理，而让根管治疗者最难处理的是呈双向 S 状弯曲的根管和 J 形根管。

对根管弯曲形态的描述有人用“拟形”记录。1995 年，Nagy 等提出用 4 次多项式函数精确地描述弯曲根管的形态，并据此将根管分为 I 形、C 形、J 形及 S 形（图 1–20）。

I 形：直根管，根管曲率较小，曲率波动平缓；

C 形：连续性弯曲根管，弯曲根管长轴的曲率分布呈连续性，曲线上各点都分布着相当数值的曲率，曲率平坦区较小，在曲线中部存在 1 个曲率峰值，峰值两端曲率逐渐减小；

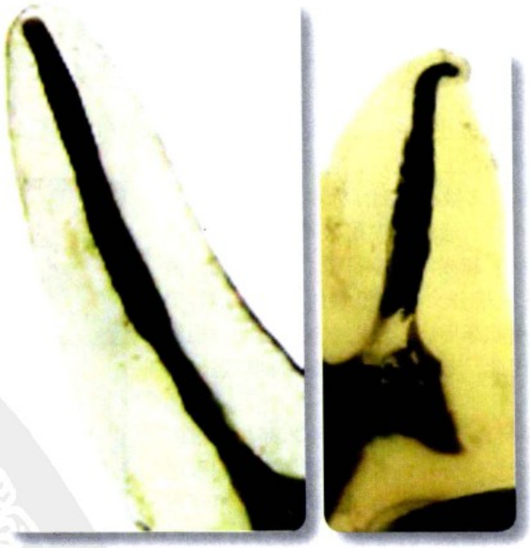
J 形：根尖弯曲根管，根管的曲率峰值位于近根尖处，根管颈 1/3 与中 1/3 部为曲率平坦区，曲率半径较大；

S 形：多重弯曲根管，根管存在一个明显的弯曲拐点，拐点两侧的曲率在 2 个相反方向上各有 1 个峰值。

这种用英文字母来描述根管的独特形态，更能体现根管治疗中的难易程度。

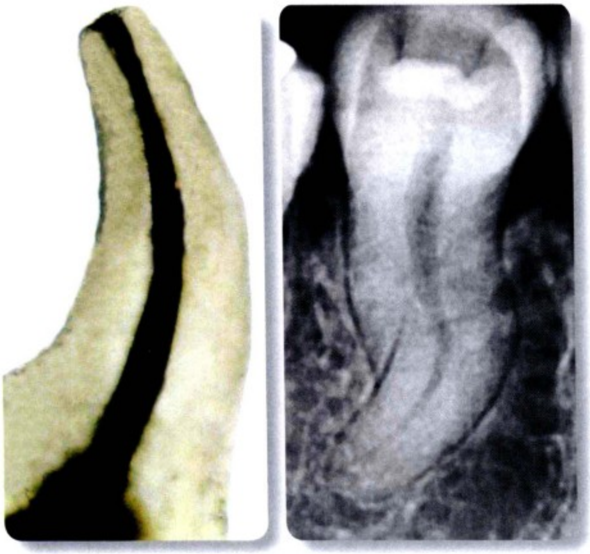
由于根管系统形态复杂，根管治疗的成功率除了依赖手术操作者的经验外，很大程度还依赖我们对根管系统形态的了解，有些复杂根管单凭手工操作很难彻底清除感染的组织。随着新治疗手段的进展与临床上不断完善的现代根管治疗技术，使根管治疗治愈率大大提高，但这些都建立在人们对根管系统的全面了解之上。

根管系统最常见的是单管型，即 1–1 型，上颌前牙最常见，下颌前牙也多见。有人在研究后牙根管后指出，那些圆形的牙根也多为单管型。其次常见的根管类型是双管型，不论 2–2 型、2–1 型或 1–2



（A） （B）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（C） （D）

图 1–20 根管弯曲的形态

（A）I形 （B）J形 （C）C形 （D）S形

型，只要其中一段有两条管道，这种形态在行根管治疗时虽然较单管型困难，但只要操作细致，也可以成功去除根管内的感染组织。

有人认为根管的复杂形态与地区或人种间有关联，但真正的比较研究资料很少，而且样本量有限，不具有统计学上的意义，其结果只能作为参考。本书有关根管及侧副管的统计研究数据来源于众多学者的结论，前后可能有较大的出入，这是因为研究者们采用的样本量及研究方法不同所致，如 X 线技术与锥形束 CT、切片法与透明法等对根管及侧副管的检测率会有很大的差异，这些需要读者全面系统的理解根管系统的空间构筑。

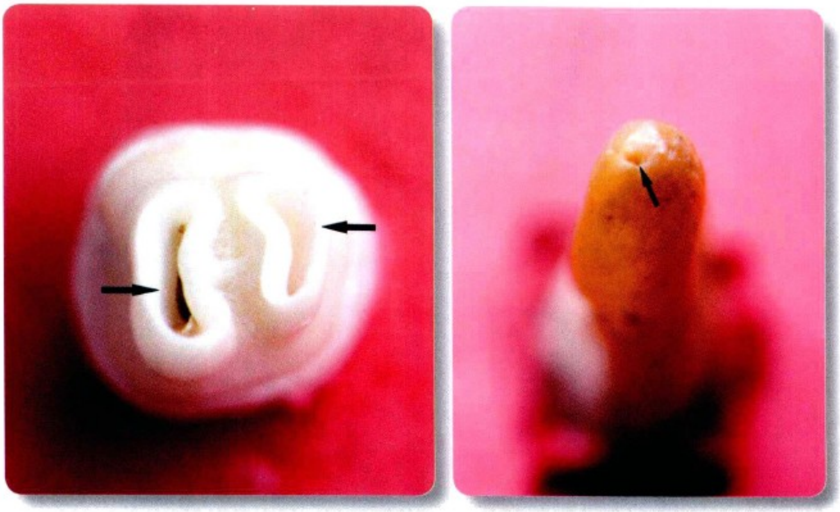
三、根尖孔与侧副孔

根尖孔（apical foramen）是牙髓腔与牙体外部连通的门户，也是牙髓血管和神经的出入口。牙齿萌出的早期，牙根发育尚未完成，根尖孔呈一喇叭口状[图 1–21（A）]，日后随着牙根的发育成熟，喇叭状开口缩窄成为根尖孔，并随着年龄的增长其孔径日益缩小[图 1–21（B）]，但终身不会闭塞，这是保持牙髓组织活力的基础。

根管起于根管口，在牙根内走行，于根尖部位出口，形成解剖性根尖孔（大根尖孔）。解剖性根尖孔的数目不一定等于牙根内根管的数目，如 2–1 型根管，根尖孔的开口只有一个，而根内的根管却存在单双混合。即使根尖段有多个解剖根尖孔，其开口也可能不在同一水平。解剖性根尖孔的位置及孔径大小可随着根尖牙骨质的增生或吸收而发生改建。根管的最狭窄处，称为生理性根尖孔，也称为“小根尖孔”，即牙本质和牙骨质的交界处，也是牙髓和牙周组织的分界。其冠方为牙本质管道，根方为牙骨质管道。生理性根尖孔，并非简单的呈一环状狭窄，它可呈现多种形态，如锥形狭窄、多个狭窄以及狭窄区较窄，管壁相互平行等。

根尖孔并非全位于牙根的根尖顶点，统计资料显示约有半数的根尖孔位于根尖段某一侧，以根尖段的舌（腭）侧和远中侧常见，少有位于根尖段的近中侧和颊侧（图 1–22）。如果根尖孔位于根尖的舌

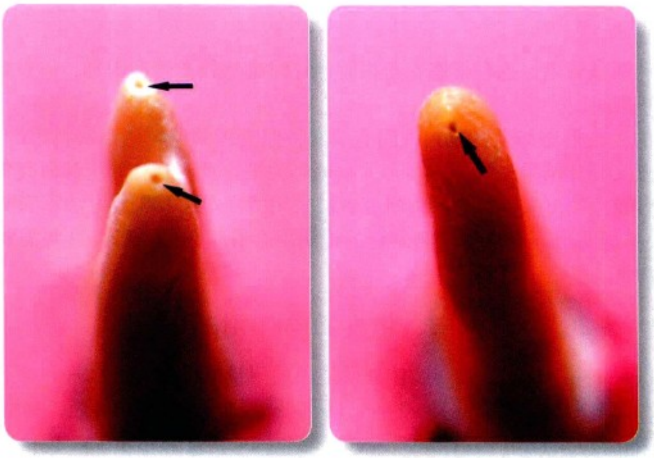
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A） （B）

图 1-21 根尖孔

（A）发育中的根尖孔 （B）发育成熟的根尖孔



（A） （B）

图 1-22 根尖孔的位置

（A）位于根尖顶点 （B）位于侧面

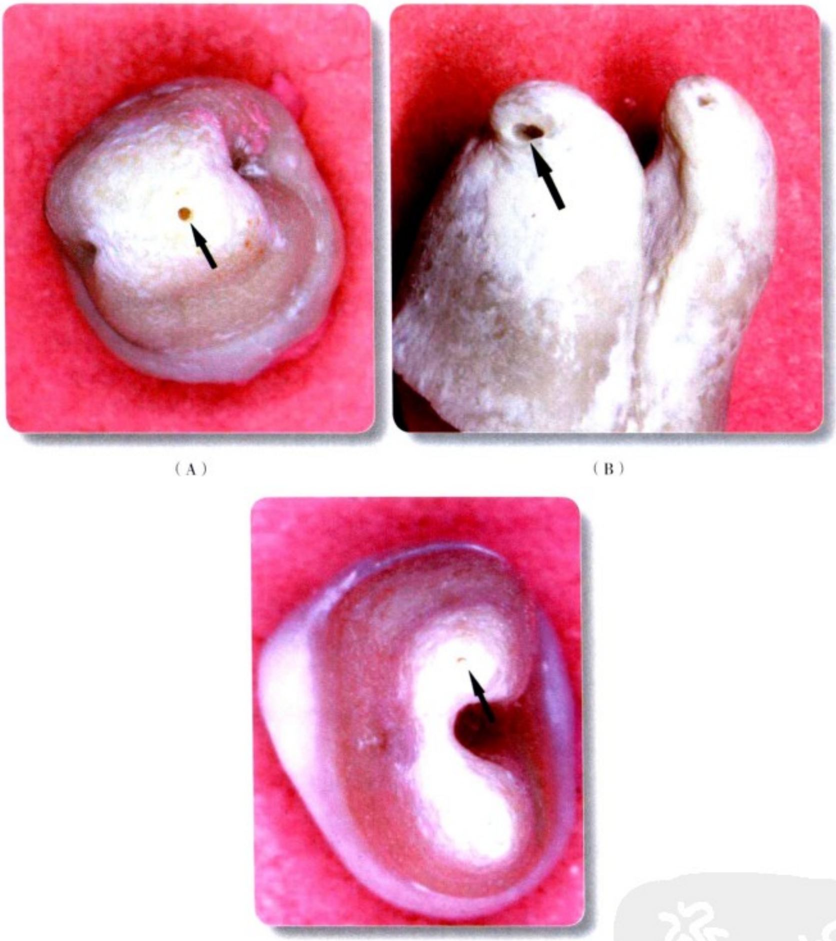
（腭）侧，根管治疗中若充填物超充很难在 X 线片上反映，这是由于超充材料影像被牙体影像遮盖所致。

根尖孔的形态也并非全为圆形，统计资料显示根尖孔为圆形者约占 61%，其次是卵圆形约占 34%，少见的形态为肾形和不规则形（图 1-23）。侧副孔形态仍可有圆形、卵圆形、肾形和不规则形等多种形态。

根尖孔和侧副孔的开口部位与开口的形状，往往涉及牙髓与牙周的相互感染。Kipiot（1984）在研究了牙周炎晚期的患者后指出，根管内微生物同牙周袋内的微生物基本一致，因此，他认为牙周袋是无髓

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

感染根管的病源，根尖孔便是入侵的通道。国内也有学者通过牙周牙髓病的细菌培养后指出，髓腔内的细菌与牙周袋内的细菌基本相同，特别是厌氧菌，所以牙周病不经治疗，最终可导致牙髓病。根尖孔可成为牙髓－牙周内外相互蔓延感染的途径之一，另外副根管、牙本质小管均可成为炎症蔓延的通道，甚至牙齿通透性也可成为相互感染的途径。



（A）　（B）　（C）

图 1-23　根尖孔的形态

（A）圆形　（B）椭圆形　（C）肾形

第二节　牙组织增龄变化和病理性牙根吸收

牙髓与牙本质的关系，正像骨髓与骨的钙化基质的关系一样。就功能而论，牙髓和牙本质被认为是一种组织，即牙髓牙本质复合体。然而从解剖结构来说，牙髓和牙本质是彼此分开的。

牙髓在牙的生命过程中不断缓慢的、终生的形成牙本质，所以随着年龄的增长，牙髓所占的容积就

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

会减小，到晚年它可减小到只是一条细丝样的组织，从根管内伸入冠部仅超过牙颈部不远的距离。在根尖部发育完成后，牙根内的管腔逐渐变成狭窄的根管或根管系统，它们最终会变得更为细窄，部分是由于牙本质的继续沉积，部分是由于牙骨质的生长。牙髓在发生形态变化的同时，还会有结构和组织上的变化。

牙本质的沉积，在牙髓表面上几乎是均匀进行的，但在前磨牙和磨牙，则有更多的牙本质沉积在髓室顶或髓室底。有时，早期形成的牙本质与以后形成的牙本质有一条着色较深的线为界，在这里牙本质小管突然改变方向。通常交界处不明显，但牙齿在行使功能后所形成的牙本质，大体上相当于小管改变方向的部位，也就是S状弯曲的末端部。在这个界线外侧的牙本质，称为原发性牙本质，而近髓一侧的牙本质称为继发性牙本质，也称为生理继发性牙本质。当周缘牙本质在受到咬合磨损、龋齿或其他牙本质表面逐渐丧失等所造成的刺激时，受刺激牙本质小管有关的牙髓细胞，其形成牙本质的速度加快。在这种情况下形成的牙本质称为反应性牙本质（reactionary dentin），或称为修复性牙本质。这种牙本质通常比原发性牙本质所含的小管数目少，这是由于成牙本质细胞受损或死亡所造成的。反应性牙本质内可含有细胞包涵体，而且往往是钙化不良。对损害反应所形成的牙本质，完全没有小管的情况也并非少见，在这时，髓腔表面上看不到可辨认的成牙本质细胞。

牙髓处于和身体其他组织难以比拟的不利地位，它被包围在一个坚硬的腔隙内，只有经过狭窄的根尖孔与牙体外相通。这种独特的环境对牙髓生理的流体动力学和血流动力学方面的影响尚未完全明了。但是由于牙髓的容积不能增加，所以牙髓液体的进出和细胞内压之间存在着临界的平衡。在牙髓的细胞间和细胞内，血液循环的容积和其他液体成分之间必须有相互平衡的关系。众所周知，牙髓在发生急性炎症时易于坏死，其原因可能是由于细胞间液体或炎症性渗出物的压力增加使血流阻塞，而不是牙髓小动脉和毛细血管的扩张。

一、牙髓增龄期变化

（一）牙髓血管

年轻牙髓有一个复杂的血管结构，末端的毛细血管袢位于成牙本质细胞的下方或在一定程度上延伸到成牙本质细胞之间。随着年龄增大，血管管径减小，此时可看到周缘成牙本质细胞的血管丛大量丧失，由此可以证明成牙本质细胞的功能潜力降低了。

目前已有在活体上直接测定牙髓组织压力的方法，借此在实验动物和人类身上都可推断毛细血管血压。然而，这些方法尚有待应用于病变及衰老的牙髓。

切片上可见，在年轻人的牙髓中，即使是主要的小动脉也只有薄壁，内皮直接紧贴在一层弹性硬蛋白的薄膜上，中层含有少量的平滑肌细胞和少量的弹力纤维，而外层是由轻度浓缩的主要是牙髓本身的前胶原网，以及一些胶原纤维所构成。在年轻人的冠髓中，即使最大的血管，如小动脉和小静脉，也类似毛细血管，只有一层内皮衬里和一些支持的纤维组织，而没有明显的中层和外膜。

在老年人的牙髓中，根髓中的小动脉显示各种变化，其中包括内膜的增厚，并有过碘酸希夫反应（PAS）阳性物质的增多，以及弹力层的增生。常见到根髓小动脉壁的钙化，冠髓则较为少见。钙化显然是从外膜开始，并逐渐扩延到中层及内膜。这些变化（钙化可能在外）属于动脉硬化，或者用一个更确切的名称，称为变性增生性硬化（degenerative hyperplastic sclerosis）。

牙髓血管的上述变化会导致给牙髓供血的血管内径缩小。因此，即使尚未产生实际的局部缺血状态，也会使牙髓活力下降，例如对刺激反应产生反应性或修复性牙本质的活力下降。

牙髓的血液供应随年龄变化可发生很大的改变。Bennet 等（1963）研究表明，牙髓中动脉血管的分支随年龄增加而逐渐减少，甚至在成牙本质细胞下区可见到，这些变化表明老年人牙髓组织的修复能力比年轻人要差。因此，临床上对于老年人牙齿不应使用盖髓术和牙髓切断术。

国内学者对牙髓组织的增龄期变化和应激能力的研究表明：①超氧化物歧化酶（SOD）在正常牙髓组织中含量随年龄的递增呈降低趋势，两者呈负相关性关系，即机体进入老年期，牙髓组织的生理代谢

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

功能指标有一个质的变化。老年人牙髓组织的 SOD 含量降低，组织自身抗氧化、清除自由基的能力相对减弱。这也可能是牙髓组织发生增龄性变化的机制之一。②细胞凋亡指数（apoptosis index，AI）值逐渐下降，增殖细胞核抗原（proliferating cell nuclear antigen，PCNA）表达也有所减低，揭示牙髓组织中细胞的新陈代谢率与年龄成反比；也就是说，老年人牙髓组织新陈代谢较年轻人低。③热休克蛋白（hsp70/hsc70）在老年人牙髓中表达下降，可能导致牙髓组织自我保护能力下降，修复性牙本质不易形成。老年人牙髓组织保存活髓相对年轻恒牙困难，一旦患有炎症，易导致扩散，基质变性坏死。

在研究牙髓细微结构之前，必须提到使牙髓组织固定的困难性。除非固定液能很快地到达组织之内，即在数分钟内能到达细微部分，否则会产生数种人工现象。这主要是由于细胞死亡后放出的溶解酶所引起的自体溶解。牙髓被包围在不透性的牙本质壁中，只有通过根尖孔才能进入液体，这说明只把牙齿放到固定液里，不能达到适当固定，因此，就必须用线锯或砂石片，将牙根按横断方向切割，如此固定液才能从三个方向即根尖孔和两个切割处进入牙髓，切割部位越靠近牙颈部越好。另一个方法是将牙齿浸在冷水中磨除大部分硬组织直至能透过薄层牙本质看到为止，这一类预防牙髓自溶的办法应用于大多数的牙髓研究。

（二）牙髓成牙本质细胞

成熟牙髓中的成牙本质细胞与刚分化出来的、呈柱状形的、富含嗜碱性胞质的成牙本质细胞显然是不同的。随着牙髓表面积的减小，成牙本质细胞逐渐拥挤，成为有 2～4 层或更多层细胞厚度。成熟成牙本质细胞的外廓难于辨别，而且它们的胞质较少，胞质中既无颗粒，也不嗜碱性。

成年人的牙髓中，成牙本质细胞的核处在不甚活动的状态，并且在染色上呈现典型的均质，没有染色质网，只偶尔能区别出核仁。有证据表明，成牙本质细胞如果恢复活力，就会像在形成反应性牙本质那样，恢复到年轻时的状态。

成牙本质细胞是高度分化的长寿命细胞，而且在正常条件下它们本身不再繁殖。它们像神经细胞一样，是长寿命的、固定的、有丝分裂后的细胞。成牙本质细胞可由牙髓中其他细胞分化而来。当用外科方法切除一部分牙髓后，创面上沉积的牙本质有时含有小管，并且在牙髓面上有形状与成牙本质细胞相同的细胞。这可能是在手术过程中存活下来的成牙本质细胞，也可能是从附近成牙本质细胞有丝分裂或移行而来，还可能是由于原来的创伤使移位到牙髓中的成牙本质细胞重新显露出来；同时也必须考虑到另外的可能性，就是它们可能来自牙髓中的原始细胞类型。但这个可能性似乎与成牙本质细胞的分化需要外胚叶诱导的观点相矛盾。

大多数学者已经认可牙髓及牙本质的敏感性随年龄增高而减退。牙本质的敏感度降低，其原因之一是大部分冠部牙本质转变为硬化牙本质或牙本质死区。另一方面随着年龄增高，冠髓中神经的分布减少，同时近根尖处的主神经束发生钙化。

在年轻的牙髓里，支持血管的结缔组织是疏松的，在基质中含有微细的网状纤维，并且有较少数的星形成纤维细胞。年轻牙髓中含有极少成熟胶原，而成年人牙髓中常能见到较多的成熟胶原，并且细胞数量和基质数量都成比例的减少，在老年人更是这样。毫无疑问，牙髓随年龄增高而倾向于纤维化，这并不取决于牙本质损伤对牙髓的累积作用。例如，常见到纤维化的牙髓无感染的保留在牙髓腔内数年之久。有趣的是老年人牙髓的胶原和基质对蛋白水解消化作用的抵抗大为增加，并且它们的化学反应性减退。这些变化是老年人胶原的特点，并且可归因于其长链分子之间交联（cross-linking）的增加。因此人们推论，这种变化可能对全身很多蛋白质和其他复杂的分子均有影响，这可能是衰老的机制之一。

渐进性的牙髓纤维化可能是继血运障碍之后发生的，这种障碍是由于根面上牙骨质的厚度逐渐增加，使根尖部根管变窄所致。在萌出牙上，咀嚼时产生的作用于牙根尖的间歇性压力，能使牙髓的血液供给和淋巴排出中断，因而能引起牙髓的纤维化和其他变化。

牙髓的体积随年龄增加而逐渐减小，这种减小比其表面积的减小更为显著，但并不伴随细胞成分的增加，而是表现相反的情况。因此，牙髓中央部分的细胞必定也逐渐减少。同样增龄时纤维成

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

分也明显增多。

在成牙本质细胞层的细胞内和细胞间经常能看到空泡，而这在牙髓切片的其他部位则较少见，即使经过良好固定时也是这样。年轻恒牙根部未完成时，很少看到成牙本质细胞有空泡和细胞排列的紊乱，而当牙根尖完成后，胞质中空泡、核空泡、细胞间隙变形等现象的出现几乎是不可避免的。

（三）牙髓网状萎缩

网状萎缩是牙髓的一种变性形态，常见于根尖发育完成的牙髓中。它最常见于牙髓的冠部，在年轻人牙齿完整的情况下，此种情况也不少见。这是一种极广泛而明显的牙髓变性，其发生率随年龄增加。网状萎缩最早的特征是出现小的脂滴，脂滴出现于成牙本质细胞、牙髓成纤维细胞核内以及毛细血管壁。在成牙本质细胞之间，不时有细胞间液积聚，可形成大的空泡，并将成牙本质细胞向两旁挤压，使其形成束状，即所谓的麦束状成牙本质细胞。在牙髓细胞之间也出现球状间隙或空泡，而且牙髓细胞的总数也减少；血管和神经束的直径减小、数目减少。典型的网状萎缩，其全部牙髓是由许多大的空泡所构成，分布在胶原纤维网内，只有极少数牙髓细胞。没有典型的柱状成牙本质细胞，只有少数扁平细胞在牙髓表面，它们被推测是由成牙本质细胞演化而来。牙本质的牙髓面是不规则的，而且缺乏一层前期牙本质，偶尔在牙髓内可含有囊腔，这显然是由空泡汇合而成的。

网状萎缩非常像固定时间延迟所造成的死后变化，这并不是否定网状萎缩是一个实际的病变。然而必须指出的是，目前广泛引证的关于这方面的研究工作，都是在没有充分认识牙髓固定的困难性之前所进行的，即使在已有牙髓功能长期渐进性障碍的重症型网状萎缩，应当找到前期牙本质的一些障碍，或是前期牙本质完全消失，或有一层不规则宽度的前期牙本质。在一个随意选择，而未曾特别小心做好固定的切片上，常能看到明显的网状萎缩，牙髓实质内有空泡，且有“麦束状”的成牙本质细胞，在这同时又有正常的前期牙本质，那就很可能是固定不良的结果。

（四）牙髓钙化

牙髓钙化，不管是弥漫性的还是由孤立的髓石组成的，都是各个年龄牙髓所常见的情况。在年轻牙齿上只能看到少量，而 50 岁以上者有 90% 的牙髓发生钙化，且比年轻者严重。龋齿和其他牙本质损伤可增加其罹患率，但牙髓钙化同样可由其他因素所引起。

髓石是比较大的孤立的钙化团块，常见于冠部牙髓，极少见于根髓。典型者，外形呈圆形，有向心性层板状结构，大的髓石几乎能全部取代冠髓（图 1–24），通常是较小的层板状髓石组成的团块。髓石对 PAS 反应比原发性牙本质明显，特别是在周缘部和层板之间，有时在层板中心可见色深的小体，可能是死亡细胞的残留。

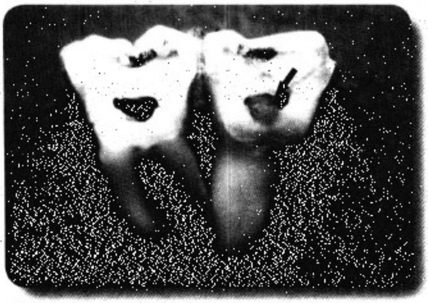


图 1–24 牙髓结石（箭头所示）

弥漫性钙化通常只见于根髓，牙髓呈“粉尘状”，有许多小的钙化颗粒，其中有较大的团块，这些团块由较小的颗粒聚合而成的，并通常沿牙髓长轴方向。弥漫性钙化往往是在先前发生过纤维性变的组织上出现的，并且这种变化通常局限在牙髓的中央部，而成牙本质细胞的周缘层没有粉尘状钙化颗粒。弥漫性钙化有时可能与血管有关，有时在血管壁上形成钙化，几乎能使管腔完全闭塞，同样钙化还可以发生在神经束的鞘上。

两型钙化虽在形态上有所不同，但实际属于同一过程，都含有钙化的有机物或纤维基质。通常髓石的基质是胶原，而周缘层可含有网状纤维。牙髓弥漫性钙化的染色性质表明它含有一定浓度的黏合性物质，可能与网状纤维的基质有关，里面有矿物盐沉积。例如，它在 PAS 反应上呈强阳性，硫堇（thionin）染色呈异染性，在未脱钙的切片上 von Kossa 反应呈强阳性；在中心部有 PAS 强阳性颗粒和 von Kossa 阳性物质。这很可能和骨、牙本质和牙骨质的形成一样，在钙化期之前，先有一个有机物的阶段，这时在异染性基质内含有网状纤维。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

二、牙本质增龄期变化

对牙齿磨片进行定量的X线吸收研究、比重测定以及化学分析，显示牙本质的密度或矿化，无论在冠部和根部，都随年龄而增加。其次有证据表明，牙本质的硬度随年龄而增加，而其抗压强度（crushing strength）或脆性随年龄而降低。牙本质染色性随年龄稍有变化，这说明它的黏多糖基质有变化。

在年轻牙前期牙本质中的牙本质小管没有管周层。但是在通过与牙髓有一定距离处小管的切片中发现，这些小管就有一层管周牙本质，并且成牙本质细胞突的直径按比例的减低。小管内的这些变化与前述化学组成和物理性质的变化相适应，并且是其产生的原因。

在老年人的牙上，常看到很多冠部和根部牙本质发生了光学性质的变化。在根部牙本质，这些变化不复杂，而冠部变化较为复杂，虽然透明可能是主要变化，但也有牙本质不透明的程度明显增加，或有死区出现。

除了形成反应性或修复性牙本质外，各种类型的周缘刺激，对牙髓牙本质复合体可引起两种牙本质的变化，这两种变化是透明性或硬化性牙本质以及牙本质死区。

（一）透明性或硬化性牙本质

在牙本质缓慢破坏的病变下方，如在磨损或慢性进行的龋齿，其周缘性刺激是轻微的，此时在磨片上用透射光观察时常可看到有一层牙本质特别透明，但在用反射光观察时，则比正常暗。这种牙本质对染料是不渗透的，浸入各种折射率不同的液体中其光学性质是恒定的，对X线有阻射性，还有硬度增加等。这一切都说明属于过矿化，并且证明“硬化”一词是正确的。

在研究牙本质透明性的意义时，应记住当一个磨片完全脱水并包埋于加拿大胶中时，整个磨片变为透明，而且完全难以辨认任何结构。这是由于加拿大胶进入并充满小管系统，其折射与牙本质的钙化基质相似。过去口腔科很多医学文献在讨论牙本质“透明性”和“不透明性”时，并未记录磨片的厚度和包埋用的材料。

在透明硬化牙本质中，成牙本质细胞突起已被管周牙本质所代替。由于闭塞小管的管周牙本质与管间牙本质的折射率几乎相同，这时透射光不被折射，或在界面处发生反射，因此，牙本质的透明度增加，闭塞的小管在磨片上就难以辨认。

（二）牙本质死区

这种反应是由于较严重的刺激所造成的。受损小管的成牙本质细胞突起的全长发生变性；同时其牙髓端被沉积的修复性牙本质所封闭。

在透射光下观察，死区的牙本质比正常者更为不透明，因为所谓空虚的小管，事实上含有气泡或空气。发生变化的牙本质区和一个狭窄的透明或硬化牙本质带相界，所以死区是被一层不透明带所分隔。一旦这个区暴露，有色染料可自由透过小管系统。

死区中的小管被证明有脂肪存在，这是从原来的成牙本质细胞突起变性而来，还是从口腔进入到小管内的脂肪物质，尚未确证。

可能Fish当初描述的死区牙本质，就相当于其他学者描述的“不透明硬化牙本质”。不透明死区牙本质的化学分析显示有机物含量比同一牙齿的正常牙本质为少，钙、磷比例也小。有机物百分比的降低和成牙本质细胞的胞质突从小管中丧失相一致。至于矿物质含量的区别，主要是由于附近有活力的牙本质发生了变化，而不是死区内牙本质的变化。因为死区保持原样，而有活力的牙本质随年龄增高，其矿化程度自然也稍微上升，这是由于管周牙本质层增宽的结果。

根据死区牙本质只是由于成牙本质细胞突起在小管内突然死亡所造成这一观点，不能在X线吸收方面显示任何变化。然而，在相当于磨损下方的死区，曾记载有不透光的“磨损锥形”，它的X线阻射性稍高。一条狭窄的死区实际上是一个倒锥形实体结构，由散发的小管组成，锥尖指向牙髓。X线阻射性可能由以下事实说明，即死区牙本质锥体的周缘层为硬化牙本质。

当年龄增高，有愈来愈多的冠部牙本质趋向透明，往往呈斑状，但有时也呈弥漫状，死区牙本质也

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

常发生于高龄者。很多变化是由于对周缘性刺激反应的积累。例如，很多透明牙本质带与磨损、龋齿之类的周缘性病变相一致。另一些情况，可能发现不了周缘性病变，但即使在这种情况下，透明层仍可由于某些环境因素所引起。例如，牙冠在咀嚼时受机械应力以及较大的温度变化等作用。

有一些可靠的报道提到在未萌出的牙齿和虽已萌出但没有对殆、没有磨损的牙齿上，也有死区和反应性牙本质。

牙本质中的氟含量，不管是在水源高氟区或低氟区，都随年龄而增多，约在 55 岁达到最高峰，在高氟区达到的标准更高。这表明 55 岁左右，牙本质达到平衡状态，或许是到这个年龄由于管周牙本质的形成而使渗透性降低，因而氟离子不容易从牙髓的血管系统进入牙本质内。

（三）根尖透明牙本质

若将一个取自中年或老年人的牙齿放在光线下，其根部常可看到透明状，根尖透明也见于磨片，偶尔根尖透明可达到牙根的一半以上，这个变化与年龄关系甚为密切。

根尖变透明后通常变脆，在拔牙时易于折断。被累及的牙本质不为染料所渗透，实际上和上述的硬化性冠部牙本质的特点一样。化学分析不能清楚地显示过矿化，但这可能由于年轻牙的根部牙本质比冠部矿化稍低，所以化学分析根部牙本质的意义不大，除非与同一牙齿未被累及的牙本质相比较。

在根部牙本质完全透明之处，没有前期牙本质层，在该处通常有一层不规则的嗜苏木精带，位于牙本质的牙髓面，而且成牙本质细胞消失。所以根部牙本质透明变化可能与成牙本质细胞的最后消失有关。

产生这种情况的原因，除了可能与环境无关的增龄变化之外，唯一可能的解释就是它与牙周病有关，而且可以认为它是成牙本质细胞对来自龈缘处的细菌毒素的反应。因为缓慢进行的牙周病在某种程度上几乎是普遍的，开始于青壮年，这就可以解释根尖透明与年龄的相互关系。可以设想，毒素达到根尖部牙髓是由于咀嚼时牙齿运动的抽吸作用所引起的。偶尔较大力量的抽吸作用能把毒素带到牙髓内，而这将引起一种逐渐扩展的作用，因为像一切偶发事件一样，它们会随时间积累起来。

三、牙骨质增龄期变化

牙骨质在一生中断断续续地沉积，而且在晚年的沉积可能大多是对牙齿所受应力的反应。例如，牙骨质的继续沉积可使牙周韧带的新生悬吊纤维附着于根面。牙骨质的形成在很大程度上还受疾病的影响，例如在患牙周病时，整个牙根面的牙骨质通常倾向于异常增厚。同样在牙髓感染及坏死之后，根尖部牙骨质一般也增厚。牙骨质生成的间歇性特征可由间隔不规则的生长线表现出来。作为在继续形成期间牙齿所受应力方向改变的一种记录，穿通纤维（Sharpey fiber，沙比纤维）在连续形成的几层中常常也有方向的改变。

牙骨质的沉积绝非完全由于功能性应力所决定。在老年人未萌出牙的根面上，可看到较厚层的牙骨质。在牙骨质厚度与年龄之间，的确有一种松弛的相互关系，所以 Gustafson（1966）把牙骨质厚度作为测定年龄的标准之一。

当沉积活跃时，有一层未钙化的基质像一层类骨质一样出现于牙本质表面，而像成骨细胞一样的细胞则位于牙周韧带的纤维之间，牙骨质就在其周围形成。在根面的大部分，牙骨质不含细胞或陷窝（无细胞牙骨质），但在牙骨质比它处较厚时，即在根尖部和多根牙根分叉部的牙骨质陷窝内含有和骨细胞相似的细胞，不过排列不甚规则。

当细胞性牙骨质增厚时，活细胞可能只见于表层的陷窝内，而那些深层的陷窝却是空虚的或含有固缩的核。显然，营养物质到达细胞的途径已非常细微，所以当牙骨质变厚时，离营养源最远的细胞就会死亡。

猴和狗的实验已证明，虽然在年幼的动物，染料在活体上可以缓慢地从牙本质进入到牙骨质，而在成年动物，牙骨质牙本质界却能抵抗染料通过。然而，像水和无机盐一类的小分子还有可能自由地通过，这个不透性区域看来是在托姆斯粒层与牙骨质之间。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

在人类的牙齿，至少是在成人牙齿的体外试验，可看到放入牙髓腔内的青霉素不能穿透牙根表面。临床上常见的情况是，当牙髓腔内有大量病原菌生长时，牙周膜的炎症变化照例局限在根尖孔附近，这一事实进一步证明在人类牙本质和牙骨质之间存在一层相对的不透性区域。

牙根面上正在进行的和过去的吸收区的数目与增龄相关。局部损伤或机械应力最易于引起吸收，它们在多数情况下是被新生牙骨质所修复。因为牙根吸收后在吸收陷窝（Howship lacunae，豪希普陷窝）外周留下的记录比在骨组织中同样的记录更要经久不变。可以认为，以往损伤的吸收记录会随年龄增高而积累，但没有理由认为牙根对吸收的易感性会随年龄增高而增加。

牙骨质在根尖方向 1/2 处不断地形成，以补偿因牙齿磨耗而降低的高度。作为对局部损伤和炎症的反应，牙骨质可以被吸收，然后再形成。在生理状态下，牙骨质只有增生而无吸收，但早期的研究认为牙骨质像其他骨组织一样，既有吸收也有新生。吸收的敏感性和吸收的量随年龄增加，并且增生的量也随年龄而增加。总的来说，新生的牙骨质多于吸收，以补偿因牙齿切缘和𬌗面的磨损而降低的牙齿高度。随着牙骨质增厚，内层营养缺乏。出现牙骨质变性和空隙。有学者认为，牙骨质厚度的增加是牙骨质增龄性变化的一个特征，75 岁老人的牙骨质厚度是 10 岁儿童牙骨质的 3 倍。随着年龄的增加，牙骨质中的氟、镁元素增加，尤其在表面增加明显。

四、病理性牙根吸收

由于各种原因，使牙根部牙本质和牙骨质发生吸收的病理过程称为牙根吸收（root resorption）。机体内骨组织在一生中不断地进行吸收和重建，这一过程是正常的生理过程。乳牙在牙列替换期发生牙根吸收也是正常的生理过程。然而，如果恒牙发生牙根吸收，不论是牙髓腔向外发生牙本质的不断吸收还是由牙骨质向髓腔方向的吸收，均是病理性吸收过程。

（一）牙根吸收的常见病因

牙根吸收的局部因素主要是炎症和压力，炎症常常是感染的结果，而压力则可能是阻生牙萌出，囊肿、肿瘤的存在或正畸治疗中过大的矫治力。

1. 炎症　感染或创伤均可引起牙髓或牙周组织的炎症。在炎症状态下，多种炎症因子可诱导单核细胞分化形成破骨细胞；同时，炎症也可破坏或改变牙骨质和牙本质表面的保护层而导致牙根吸收（图 1-25）。

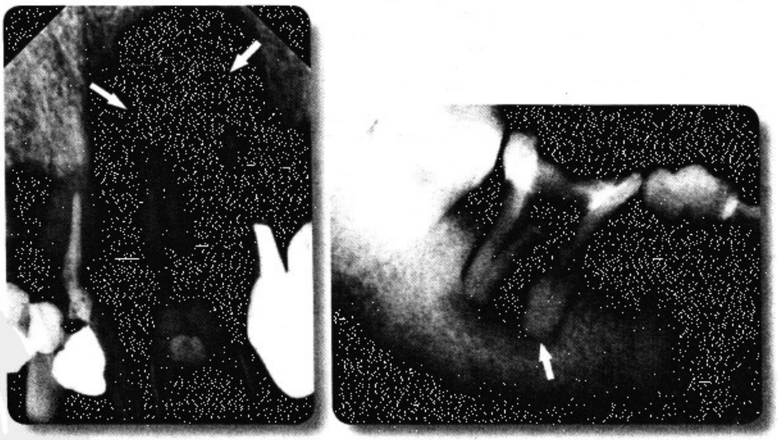


图 1-25　炎性牙根吸收

2. 压力

（1）阻生牙萌出：阻生牙萌出对邻牙牙根面的挤压可导致邻牙发生根外吸收，但由于前期牙本质和

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

成牙本质细胞未受到破坏，牙髓通常不受波及，因此通常不发生根内吸收。拔除阻生牙后，邻牙根外吸收一般逐渐终止；若阻生牙未拔除，邻牙受到挤压，则可造成牙骨质牙本质吸收而波及牙髓（图 1-26）。

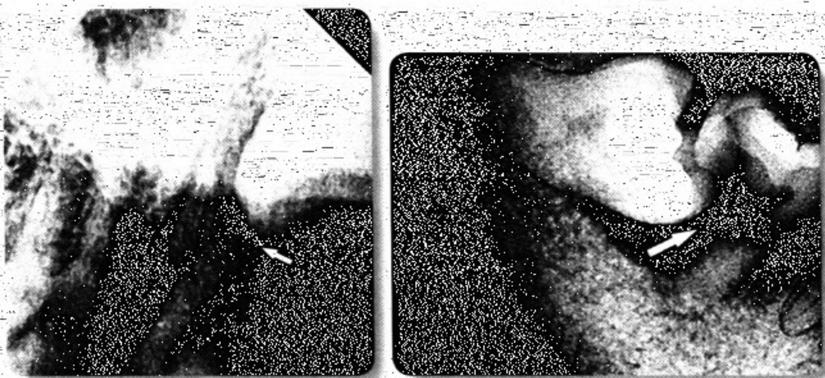


图 1-26　阻生牙引起牙根吸收

（2）根尖周囊肿或肿瘤：由于囊肿或肿瘤的挤压作用，其牙根可发生根外吸收，当囊肿或肿瘤摘除后，牙根吸收终止（图 1-27）。

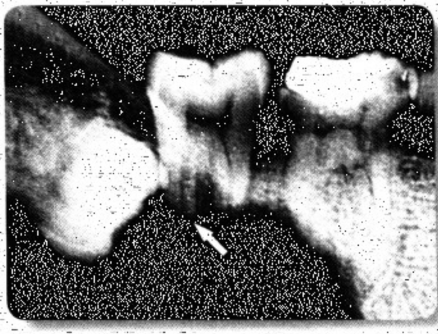
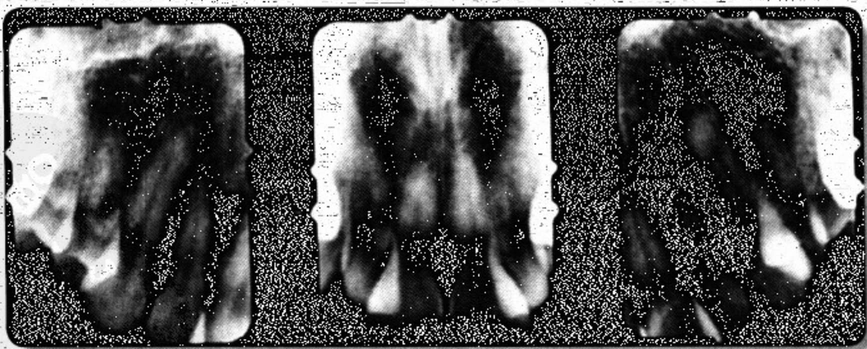


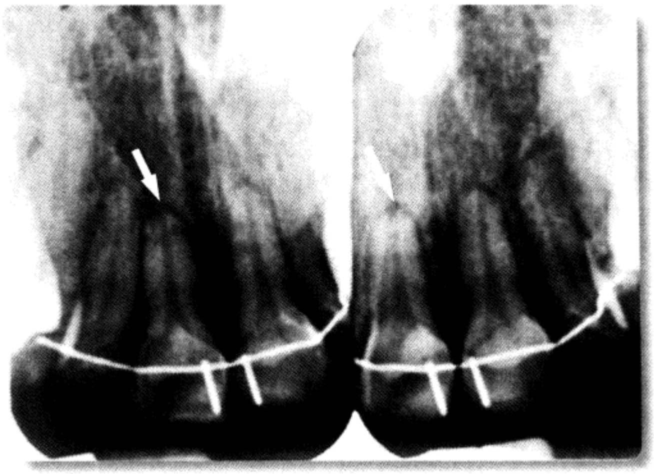
图 1-27　根尖周囊肿致根外吸收

（3）正畸治疗：正畸治疗中的推力过大、治疗时间过长、前牙移动的距离过长都会增加牙根吸收的可能性和严重性。牙齿在受到过大的正畸力时，受压的一侧缺血、坏死，形成透明区（hyalinization zone）。坏死的透明区组织逐步被各种吞噬性细胞清除，如巨噬细胞（macrophage）、异物超大细胞（foreign body gaint cell）、破骨细胞（osteoclast）等。在各种吸收性细胞破坏清除坏死组织的同时，牙骨质表面的保护层也遭到破坏，牙骨质暴露、吸收，成为形状不规则的凹陷区。牙根吸收通常从透明区的边缘开始，逐步向透明区的中心扩展（图 1-28）。当透明组织被清除后，正畸推力减小，修复性细胞进入该区域进行活动，对牙骨质表面的凹陷一并修复。



（A）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（B）

图 1-28　正畸致中度牙根吸收

（A）治疗前　（B）治疗后：牙根吸收

（二）牙根吸收的类型及处理

临床上根据牙根吸收发生的部位及方向分为牙（根）内吸收和根外吸收。

1. 牙（根）内吸收（intenal resorption）　是指正常的牙髓组织变为肉芽组织，其中的破牙本质细胞从髓腔内部开始吸收牙硬组织使髓腔壁变薄，严重者可造成病理性牙折。牙（根）内吸收的原因尚不明了，但多发生于受过外伤的牙，再植牙及做过活髓切断术或盖髓术的牙。临床上一般无主观症状，X 线检查是诊断牙（根）内吸收的重要依据。X 线片上，牙（根）内吸收表现为髓腔局部膨大，根管影像变形，膨大部分边缘与根管边缘连续性好（图 1-29），患者牙周组织正常。严重的牙（根）内吸收髓腔壁可穿通，甚至出现牙根折断线，一旦诊断为牙（根）内吸收，必须进行根管治疗，即全部去除牙髓，进行根管充填。如牙（根）内吸收未引起根侧壁穿孔者，完成根管治疗即可；如穿孔在牙槽骨水平以下，则需先用氢氧化钙行暂时性根管充填，待牙周骨组织修复后再行永久性根管充填。



图 1-29　牙（根）内吸收

2. 根外吸收（external resorption）　是指吸收从牙骨质开始向髓腔方向破坏（图 1-30）。根外吸收又根据其发生的部位分为根尖外吸收（apical external root resorption）、根侧外吸收（lateral external root resorption）、牙颈部外吸收（cervical root resorption）。在正常生理条件下，牙骨质表面及附着的牙周膜（periodontal ligament，PDL）细胞有一层保护质，具有胶原纤维酶抑制剂（collagenase inhibitor）的功能，可以保护牙根免遭吸收。当保护层遭到破坏，其内分解性（clastic）细胞直接与牙根组织接触，使牙根表面遭到破坏。根侧外吸收的表面吸收层与健康组织没有分离，所以在治疗结束后通常可以被修复。而根尖外吸收，因被吸收的根尖组织与健康的牙体组织完全分离，所以吸收后无法完全修复。

（1）根尖外吸收：所有引起根尖周炎的因素均可能导致根尖外吸收，因此根尖周的感染、创伤是

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

根尖外吸收的主要原因。根尖外吸收一般无疼痛、肿胀等症状，实际上是同时存在的根尖周炎症所致。X线检查显示出根尖及根尖周牙槽骨暗影，有时可见牙根尖变短、变钝或变细。完善的根管治疗能终止根尖外吸收；但因根尖外吸收，根尖狭窄区已消失，因此在根管预备时应特别注意。少数根尖外吸收严重者或根管治疗后根尖外吸收仍进行者需行根尖刮治术，彻底去除根尖肉芽组织后方能获得满意效果。



图 1-30　表面吸收和根尖吸收

（2）根侧吸收：根据损害程度分为表面吸收和炎性根吸收。

1）表面吸收（surface resorption）：常发生于轻度牙创伤，如创伤殆、牙震荡、轻度牙脱位后。这些创伤在一定程度上损伤牙根表面结构，但未引起牙髓坏死，因此，在适当的炎症反应中虽有少量牙骨质被破坏，但在炎症消退后，有部分新的牙骨质形成。这种损伤仅限于牙根表面，临床检查包括X线检查均无法发现。

2）炎性根吸收（inflammatory root resorption）：是由于持续性炎症引起牙骨质的进行性吸收形成，常发生于较严重的牙创伤后，创伤使根尖供血障碍，牙髓坏死，同时牙骨质表层组织的完整性受到破坏，局部发生炎症，牙根表层牙骨质被吸收。根侧吸收本身可表现为无症状，但炎性根吸收常伴有牙周组织炎症，因此可有叩痛，在根侧吸收的活跃期，还可伴有牙松动、叩痛或发生牙周脓肿。炎性根吸收在X线片上表现为牙根侧方及邻近牙槽骨阴影。阅片时应注意与牙（根）内吸收相鉴别，有时因X线投射角度不当可能将根侧吸收误诊为牙（根）内吸收。根表面吸收具有自限性，无需治疗；炎性根吸收需进行完善的根管治疗。

（朱友家　陈作良　Frank Weine）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第二章

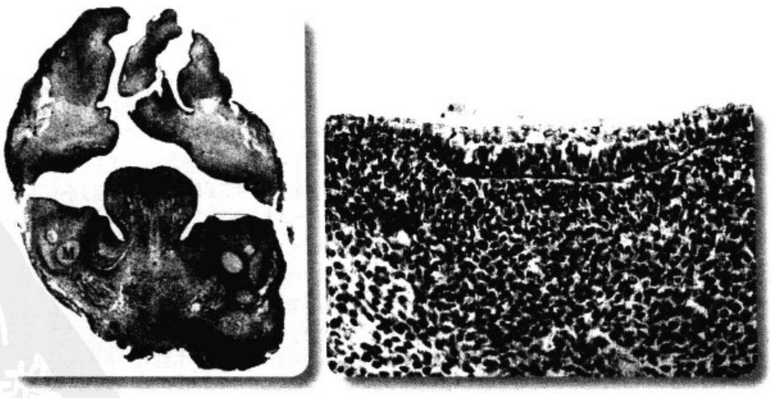
牙的发育

与许多器官的发育一样，牙的发育是一系列复杂的上皮及上皮下间充质相互作用的结果。约在胚胎的第6周，20个乳牙首先开始发育，然后是32个恒牙发育。最后的恒牙发育完成约在20多岁时。所以牙的发育是一个长期的过程。在此过程中容易受到各种因素的影响而发生发育的异常。

虽然每个牙的发育都有自己特定的解剖学部位，但它们的发育过程基本一致。每个牙胚的发育都经历蕾状期、帽状期和钟状期。早期发育阶段，牙胚生长增大，将形成矿化牙组织的细胞进行分化。一旦这些细胞分化成熟，它们便开始形成牙的矿化组织。随后，形成的牙将萌出至口腔。牙萌出期间，牙根及围绕牙根的牙周韧带及牙槽骨也开始发育，牙根的形成一直持续至牙到达功能部位及支持组织发育完成。

第一节　牙的早期发育

牙发育的最早征象是相当于未来牙列部位的原始口腔上皮增厚，以及上皮下方的外胚间充质组织的聚集（condensation），约发生在胚胎的第6周。此时，口腔表面被覆的上皮约有2～3层细胞，在相当于未来牙槽嵴部位的上皮开始增生、变厚，形成马蹄形的上皮带（图2-1），称为原发性上皮板（primary epithelial band）。第7周时上皮板分为两部分，颊侧的上皮板称为前庭板（vestibular lamina），与口腔前庭的发生有关；舌侧的上皮板称牙板（dental laminae），与牙发育相关（图2-2）。第8周时马蹄形上皮



（A）　　（B）

图2-1　胚胎早期头部冠状切面

（A）低倍镜下所见（T为发育中的舌，M为下颌软骨　（B）A图中方框的放大，可见原发性上皮板（箭头所示）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

板的深部继续增生，形成膨大的上皮团，上下颌各10个，共20个，称牙蕾（dental buds）。牙蕾的周围有间充质组织的聚集，牙蕾及周围聚集的间充质是乳牙的始基。

在以后的发育中，乳牙牙板的舌侧分化出恒牙的牙蕾，称为继承性牙蕾（successional tooth buds）。恒中切牙的牙蕾在胎儿5个月时出现，前磨牙的牙蕾在第10个月出现。恒磨牙的发育在乳磨牙的后方。乳牙板向后生长形成恒牙板后，再形成恒磨牙牙蕾（图2-3）。第一恒磨牙的牙蕾在胎儿第4个月时发生，第二、第三恒磨牙牙蕾分别约出现于生后6个月和4～5年。可以看出，牙发育的顺序是由前向后；在时间上，前牙的发育要稍早于后牙。



图2-2 牙板（DL所示）和前庭板（VL所示）

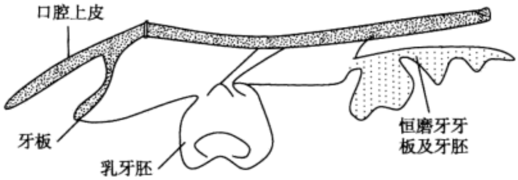


图2-3 乳牙牙板和恒磨牙牙板示意图

牙蕾的发育是连续的，为叙述的方便，根据其上皮成分的形态和细胞分化的特点，将其分为蕾状期、帽状期和钟状期，所提及的时间为下颌乳中切牙的发育时间。从牙板的出现到钟状期这段时间内，牙胚在体积和外形上的变化迅速，细胞处于不断分裂状态。至钟状晚期，硬组织开始形成，细胞分裂减少。

一、牙发育的蕾状期、帽状期和钟状期

1. 蕾状期（bud stage） 牙板是上皮的增厚，尚不能辨别牙的位置。随着进一步的发育，牙板局部上皮增生，形成球形的上皮细胞团，状似花蕾称为牙蕾（dental buds）。牙蕾是最早期的成釉器（图2-4），此阶段的发育称蕾状期，是确切的牙发育的开始阶段。细胞团的细胞核质比例大、核深染、胞质少，似原始口腔黏膜的基底细胞。上皮团与间充质之间有基板相隔。上皮团周围的间充质细胞也增生、聚集，围绕牙蕾。

2. 帽状期（cap stage） 蕾状期的成釉器上皮不断生长、增大。约在第11周时，上皮团的形态及细胞的形态开始发生变化。由于成釉器上皮外围的细胞生长较快，上皮团最深处细胞生长较慢，使细胞团中央近间充质部分向内凹陷。此时的成釉器形状似帽子，称为帽状期成釉器。约12周时，帽状期成釉器的细胞形态也发生变化。衬覆成釉器凹陷处的上皮呈柱状，称为内釉上皮（inner enamel epithelium）；成釉器其余部分即外围的上皮细胞为立方状，称为外釉上皮（outer enamel epithelium）；成釉器中央的上皮细胞开始为圆形，后来细胞间隙增大，细胞彼此分离但仍有桥粒连接，细胞间有大量糖胺聚糖。此时的细胞呈星形，彼此之间借胞质突相连接，称为星网状层（stellate reticulum）。成釉器凹陷的部分围绕的间充质部分称为牙乳头（dental papillae）。在牙乳头和成釉器外围的间充质



图2-4 牙发育的蕾状期（箭头示牙蕾）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

细胞也增生，包绕牙乳头和成釉器，称为牙囊（dental sac or dental follicle）。外釉上皮借牙板与口腔上皮相连（图 2-5）。

成釉器、牙乳头和牙囊这 3 个结构合称牙胚（tooth germ）。因此，牙胚是在成釉器的帽状期形成的，它们将形成牙及牙的支持组织。上皮成分即成釉器将形成釉质；牙乳头形成牙本质和牙髓；牙囊形成牙骨质、牙周韧带和邻近的牙槽骨。其中除釉质为上皮性来源外，牙及其支持组织均来自于外胚间充质。

3. 钟状期（bell stage）　随着成釉器和牙乳头不断增大，牙胚从帽状期向钟状期转变。内釉上皮向成釉器方向的凹陷加深、牙乳头增大，使成釉器的外形似吊钟，故称钟状期（图 2-6），这是内釉上皮细胞不均等分裂的结果。未来牙尖和切缘部位的内釉上皮细胞较早成熟，分裂停止，而与咬合面裂隙及牙边缘区对应的细胞仍在分裂。因此，牙尖的高度与裂隙处及牙冠边缘的内釉上皮细胞的增殖关系较大。



图 2-5　牙发育的帽状期

O：外釉上皮　I：内釉上皮　S：星网状层
P：牙乳头　DS：牙囊



图 2-6　牙发育的钟状期

O：外釉上皮　S：星网状层　I：内釉上皮
P：牙乳头　DS：牙囊　CL：颈环

钟状期的牙胚有以下两个特征：①内釉上皮和牙乳头交界处的外形确定了未来牙冠的形态；此过程是未分化的帽状期牙胚向更分化成熟的牙胚的转变，称为形态分化（morphodifferentiation）。②与牙乳头邻近的内釉上皮细胞变长、分化为成釉细胞，即未来形成釉质的细胞。此期牙胚的成釉器由以下 4 层上皮细胞构成（图 2-7）：

1. 外釉上皮（the external enamel epithelium）　为成釉器凸面外层细胞，呈立方状。细胞含少量有蛋白合成功能的细胞器。细胞间有桥粒连接和缝隙连接。与牙囊组织之间有 1～2μm 的基板相隔，此基板比普通的基板薄。外釉上皮与内釉上皮的交界处称为颈环（cervical loop），是未来的牙颈部区（图 2-6）。颈环处的细胞增殖活跃。外釉上皮在钟状期的早期为较平齐排列的细胞，至钟状期晚期，上皮形成许多皱褶，其间可见含血管的牙囊组织。外釉上皮的主要功能是维护成釉器的外形，还具有物质交换功能，从牙囊的毛细血管网处吸取营养物质供给成釉细胞和其他的成釉器细胞。

2. 星网状层（the stellate reticulum）　星网状层细胞在钟状期发育充分，存许多胞质突起，不同细胞的突起彼此借桥粒相连接，形成网状。细胞排列疏松，间隙较大，充满液体成分（图 2-7），可能与高浓度糖胺聚糖产生的渗透作用有关。细胞几乎不含内质网和线粒体，高尔基体较成熟。细胞表面有微绒毛，提示该细胞可分泌细胞外物质。细胞内张力丝较多，细胞核明显，胞质含碱性磷酸酶、RNA 和糖原

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

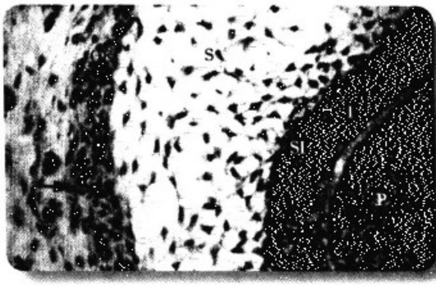


图 2-7 钟状期牙胚的高倍镜下图

P：牙乳头 I：内釉上皮 SI：中间层 S：星网状层
OE：外釉上皮，箭头示血管

含量少。另外，此细胞具有间充质样细胞的特征，表达Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ型胶原，其功能意义尚不清楚。

星网状层的功能主要是机械性保护，防止发育中的牙冠变形。有人提出星网状层的静水压与牙乳头的相等，可使内釉上皮正常增殖以确定牙冠的形态。压力的改变可能导致内釉上皮细胞排列的外形发生改变，影响牙冠的形态发生。

3. 中间层（the stratum intermedium） 钟状期成釉器的内釉上皮和星网状层之间新增加 2~3 层扁平细胞，称为中间层（图 2-7）。细胞的长轴与内釉上皮细胞的长轴垂直。细胞的形态相似于星网状层细胞，但细胞间隙小，细胞含较多的碱性磷酸酶。中间层细胞与内釉上皮的蛋白质合成、物质的转运和浓缩有关，也可能参与釉质的矿化。

4. 内釉上皮（the internal enamel epithelium） 是衬覆在成釉器凹面的上皮细胞。细胞呈高柱状，借半桥粒与基板结合。从颈环处至未来的牙尖或切缘区，细胞分化的程度逐渐加强。与牙尖或切缘相对应的区域，内釉细胞的高度首先增加。开始时的柱状或立方状细胞，胞核大而居中，高尔基体分布于细胞的远端。随着成釉器的发育，至钟状期晚期，内釉细胞分化为成釉细胞（ameloblast），细胞高达 40μm，直径 4~5μm，与中间层细胞以桥粒相连。在分泌活动开始前，细胞核移向细胞的远端即远离基底膜；高尔基体分化充分，从细胞的远端向基底膜端移动；粗面内质网数量明显增加；线粒体集中在细胞邻近中间层的一端，少数分散在细胞其他部位。在相邻的内釉细胞之间，有一特化的称为终棒（terminal web）的附着结构，即一种细胞连接复合体（junctional complex），在细胞的两端包绕细胞，含有的肌动蛋白细丝由连接复合体进入细胞的胞质中。这种细胞连接复合体在釉质形成中起重要作用。这时的成釉器已为釉质的形成作好准备。

钟状期牙板发生破裂，牙胚失去与口腔上皮的联系，牙胚之间的牙板也发生变性，其残余可留在颌骨或牙槽黏膜中，内含角化物，称为上皮珠。由于这些上皮类似于腺体，因此，又称为 Serre 腺或 Serre 上皮剩余，但不是真正的腺体。婴儿出生后不久，偶见牙槽黏膜上出现针头大小的白色突起，即为上皮珠，俗称马牙，可自行脱落。某些情况下，残留的牙板上皮可成为牙源性肿瘤或囊肿的起源（图 2-8）。

牙囊位于成釉器、牙乳头和发育中的骨隐窝之间。此时的牙囊可分为 3 层：紧挨成釉器和牙乳头的富于血管、致密排列的纤维层，有 3~4 列细胞；衬覆在发育中的牙槽窝的一层；以及上述 2 层之间的疏松结缔组织，其血管丰富。

钟状期的牙乳头体积增大，但细胞分化不如成釉器显著。一直到钟状期的晚期，致密排列的间充质细胞间才有少许纤细的细胞外原纤维出现，细胞外含有较多的糖胺聚糖。

约在第 18 周，牙胚的发育进入钟状期晚期。此时在乳牙胚的舌侧可见恒牙的牙胚。钟状期晚期的牙胚开始出现牙体硬组织形成，首先是牙本质的形成（后述），开始于未来的牙尖或切缘处。在发育中的成釉细胞（前成釉细胞）诱导下，邻近牙乳头的间充质细胞变为柱状并分化为成牙本质细胞，开始形成前期牙本质和牙本质。牙本质的出现又诱导成釉细胞分泌釉质基质。成釉器和牙乳头中各种细胞分化的过程即牙早期发育的形态发生（morphogenesis）过程，也有人称为细

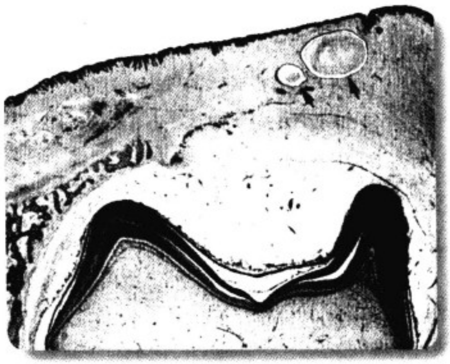


图 2-8 牙板断裂形成的上皮珠（箭头所示）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

胞分化（cytodifferentiation）。硬组织形成时，即组织发生（histogenesis）的开始，也可以称为组织分化（histodifferentiation）。

二、牙发育早期的临时性结构

牙发育早期的临时性结构包括釉结（enamel knot）、釉索（enamel cord）和釉龛（enamel niche）。

1. 釉结 是内釉上皮中心处的上皮细胞团，形成一个突起凸向牙乳头。釉结出现于成釉器的帽状期，曾有人认为它在牙冠中央点隙的形成上起作用，但它很快即消失并且与釉索的形成相关。最近的研究表明，釉结可能是牙发育中的一个重要的信号中心。釉结细胞与周围的细胞不同的是，它们本身不增生，而是产生与其他部位相关的信号分子，包括 BMP2、BMP7、FGF、p21、Shh（sonic hedgehog）及转录因子如 Msx1。釉结在钟状期消失，可能与细胞凋亡有关（图 2-9）。

2. 釉索 见于钟状期早期，是一个上皮条索，自中间层延伸入星网状层。发生的部位相当于未来的切缘或牙尖，可达到外釉上皮。釉索将星网状层分为两部分，此时可称为釉隔（enamel septa）。有时在釉索与外釉上皮的相交处，可见外釉上皮有小的内陷，称为釉脐（enamel navel）。釉索的细胞核呈长梭形，与周围的细胞不同。釉索可能与成釉器从帽状期向钟状期转换有关，或者是形成星网状层细胞的中心。

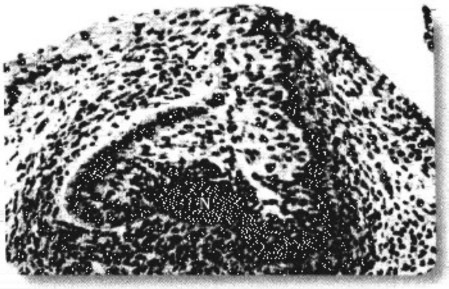


图 2-9 釉结（N 所示）

3. 釉龛 是牙板上皮片向内凹陷形成的腔隙，在切片上使牙胚看起来像有 2 个牙板。有人将其分为侧索和中间索（lateral and medial enamel strand）。2 个上皮索围绕的即釉龛，为包含在上皮中的漏斗形结缔组织。釉龛的意义尚不清楚。

三、牙发育中上皮－间充质的相互作用

从牙胚发育至一个完整牙的过程涉及成釉器上皮和牙乳头间充质之间的许多相互作用，这种作用称为上皮－间充质相互作用。这种作用始终贯穿于牙胚的形态、结构的发育中，即牙胚的形态分化和组织分化过程中。对于正常的牙发育来说，这两种组织相互需要。这在一些早期牙胚分离实验中已经得到证实。无论是在体内还是体外，当两种组织各自独立生长时，都不能继续分化。但如将它们重新结合时，仍可继续分化。

牙发育时，一些"信息"通过上皮和间充质在所有细胞层中诱导牙胚的进一步分化。诱导（induction）一词指一个细胞层向另一个细胞层施加的影响。对于诱导性信息在上皮和间充质之间的传导方式，有以下 3 种主要假说：

1. 一层细胞产生的某种化学物质弥散至细胞间隙中，再被摄取，引起另一细胞层的反应。

2. 诱导是细胞与细胞直接接触激发的，不涉及分子的弥散。

3. 诱导是由于最初细胞外基质的出现，即上皮与间充质之间的薄层基板及其邻近区。细胞外基质构成复杂，有胶原、蛋白多糖和糖蛋白。

为了证实上述假说正确与否，在钟状期早期将上皮和间充质分离，然后进行组织培养，两者间有孔膜相隔。孔膜的孔大小有别，以确定成釉细胞和成牙本质细胞的分化点。在 0.2μm 的孔中，分子可以随时弥散，此时无分化迹象。结果不支持第一个假说。而且此时还不存在细胞外基质，也无细胞突起伸入 0.2μm 的孔中。因此，细胞与细胞的直接接触或细胞外基质可能与分化有关。但在体内的情况是不存在细胞与细胞的直接接触。这样细胞外基质可能是诱导中最重要的因素，这也得到了实验的证明。首先，将细胞外胶原交联的抑制剂加入培养基时，可以抑制牙胚的分化；其次，细胞外基质的片段可使成釉器的内釉上皮出现分化。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

那么，在成釉器和牙乳头之间，谁在形态发生和组织发生上起主导作用？解决这些问题的方法为牙胚组织的移植实验。由于技术方面的限制，牙发育的移植实验限于帽状期早期，因为此时牙胚的分化很不明显。所进行的实验包括将不同发育阶段的成釉器、牙乳头进行不同牙间的交换、与非成牙区（牙槽嵴以外的区域或第一鳃弓以外的区域）组织交换。结果显示：在帽状期，牙主要的发育组织者是牙乳头（包括形态分化和组织分化）。如将牙乳头与发育中的足垫结合，最终有正常的牙发育；而将成釉器与足垫间充质结合，则无牙发育。实验还证实，牙型的组织者也是牙乳头。如在重新组合成釉器、牙乳头时，将切牙的成釉器与磨牙的牙乳头结合，结果将发育成磨牙牙型（molariform）；将磨牙的成釉器与前牙的牙乳头结合时，将形成切牙牙型（incisiform）。因此，对于组织发生来说，牙乳头是帽状期确定牙形态的主要组织成分（图 2-10）。

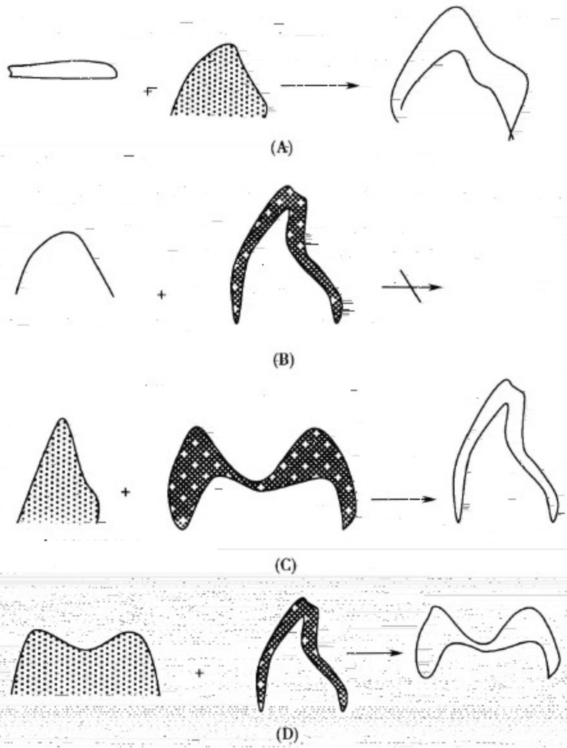


图 2-10　牙乳头在确定牙形态方面作用的移植实验

（A）胚胎足垫上皮与牙乳头结合　（B）胚胎足垫上皮与成釉器结合
（C）前牙牙乳头与磨牙成釉器结合　（D）磨牙牙乳头与切牙成釉器结合

最近的实验技术发展，使在没有任何牙发育迹象时，分开及重新组合哺乳类上皮和间充质成为可能。因此，在神经嵴组织向发育中的颌区迁移之前，将其从发育中的脑部取出，然后与不同部位的上皮如口腔上皮或肢体上皮再结合。得出的最重要的结论：迁移前的神经嵴只有同口腔上皮相结合时，才能发育成牙。因此可以推断，正常发育时，进入下颌弓的神经嵴在迁移前或在迁移中不具备牙发育的特异性。而口腔上皮是最早的与牙发育相关的部位。因此，牙发育期间的细胞相互作用可分为两个阶段：第一阶段是上皮特化间充质的成牙性质（dental nature）；第二阶段是间充质特化牙的形态和上皮产物的性

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

质。自蕾状晚期开始，间充质的作用大于上皮。

总之，成功的牙发育取决于牙上皮和间充质之间的相互作用。最初，第一鳃弓上皮对于神经嵴的外胚间充质起指导作用，但在以后指令性的能力转至间充质。

四、牙发育的分子调控

控制牙发生和模式发育的连续性相互作用非常复杂，包括调控牙发育的启动、模式发生和形态发生有关的分子和信号通道，其机制目前尚未完全清楚。牙及牙列的形成过程中，一系列的形态发生运动以及短、中、长期的细胞与细胞，细胞与基质相互作用都与信号分子的调节有关。目前的研究结果主要来自动物实验（鼠）。

许多信号分子包括诱导性和形态发生刺激因子都在牙发育过程中表达，其中最主要的有 SHH（sonic hedgehog）、Wnt（vertebrate homolog of drosophila wingless）成员、FGF 和 TGF 家族，后者也包括 BMP。这些信号分子与特异性受体结合，形成细胞内信号，导致特异性基因的表达。在早期牙发育阶段活跃的基因也编码转录因子。HOX 转录因子是高度保守的基因，在控制各种发育结构的模式发生中都有重要作用，也包括牙的模式发生（patterning；牙的模式发生指牙的位置和牙型即切牙或磨牙的确定）。与控制牙发育过程中的启动、牙形态发生和牙的模式发生相关的转录因子有 Lef1、Pitx2（Ohx2）、Barx1、Lhx6、Lhx7 和 Pax9，还有 Msx 和 Dlx 成员（图 2-11）。

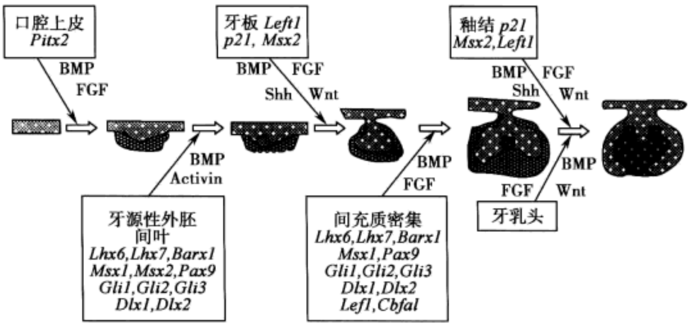


图 2-11 牙早期发育上皮－间充质相互作用中出现的 HOX 转译因子与生长因子

SHH 是表达在早期的形态发生信号分子，可能是一个中线模式发生因子。因此，它可能在牙板形成前作为切牙的模式发生因子，调节 Pax 在面突的表达。已经证明 SHH 活化的基因在牙发育的起始阶段和形态发生阶段有着重要作用。

Wnt 信号分子与 2 个早期胚胎发育过程有关，即神经管形成和形态发生运动。提示 Wnt 参与颅面部早期发育，包括神经嵴迁移和面突的建立。第一鳃弓形成后，早期 HOX 转录因子 Pitx2 表达在初始阶段的口腔上皮，此时无任何牙发育的迹象。Pitx2 表达区域广泛，也延伸到无牙的区域，其表达可能受间充质位置的信号控制。此因子表达失败导致 Reiger 综合征，牙发育不全（dental hypoplasia）甚至无牙。在原发性上皮板出现后，信号分子 FGF8 广泛表达在口腔上皮。实验表明，FGF8 与牙蕾的形成有关，可通过刺激间充质细胞增殖诱导牙蕾的形成，此时间充质表达转录因子 Pax9，不表达的动物无牙形成，牙发育被阻断于蕾状期，说明 Pax9 对于蕾状期以后牙的进一步发育是必需的。在发育早期，BMP4 表达在无牙形成的牙弓区，可能通过限制 Pax9 的表达，使不应该形成牙的部位无牙发育。

在蕾状期，FGF8 诱导 Lhx6 和 Lhx7 表达，与牙发育关系密切。除 FGF8 之外，上皮首先表达 Lefl，然后 Lefl 又在间充质中表达。Lefl 缺陷的上皮和正常鼠的间充质重组后，所有的牙均缺失，说明上皮如果不表达 Lefl 将无牙发育。一旦上皮表达 Lefl，即使间充质不表达，牙发育也转为正常。由 Lefl 和 Pax9

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

活化的基因表达，对于牙胚进入帽状期也是必需的。

虽然上皮成分启动了牙发育的早期过程（最可能的是 FGF8 的信号），但在特定位置、牙形态的模式发生的指令可能来自间充质。在发育起始阶段，同源异型盒基因的表达沿着未来牙弓有一定的顺序。这些基因有 Msx1、Msx2、Dlx2 和 Barx1。其中 Barx1 的表达限于牙发育的磨牙区。Dlx1 和 Dlx2 在磨牙区共同表达，这 2 个基因敲除的小鼠无上颌磨牙，但下颌磨牙正常，说明上、下颌牙列的模式发生机制不同。鼠的下颌弓由左右下颌突融合而成，切牙及磨牙发育区位于牙弓上；在上颌弓，上颌突必须与带有切牙的中鼻突融合。Msx1 在切牙区表达，提示其与切牙形成有关，但 Msx1 缺陷的转基因鼠无牙的发育，提示该基因具有更广泛的作用。

在下颌，BMP4 表达在切牙区上皮并且诱导间充质表达 Msx1，而 FGF8 表达在磨牙区上皮并且诱导 Barx1。在适当的时间，消除或抑制上皮 BMP4 的表达将导致间充质 Barx1 而不是 Msx1 表达，最终在切牙区形成磨牙（图 2-12）。



图 2-12 下颌间充质 HOX 基因表达与牙型的关系

（A）小鼠下颌间充质 HOX 基因表达，Msx1 和 Msx2 的表达有重叠

（B）小鼠牙型发育，磨牙区表达 Barx1；切牙区表达 Msx1、Msx2 和 Alx2

（C）推测的人牙型发育，切牙区表达 Msx1、Msx2 和 Alx2；尖牙区表达 Msx1 和 Msx2；磨牙区表达 Barx1

在牙早期形态发生过程中，釉结起发育调节中心的作用。釉结是牙发育的暂时结构，出现在帽状期早期。它的出现和分化由间充质中的信号分子引发，这些信号分子最可能是 BMP4，但其他一些信号分子也起作用。组织重组实验显示此时的间充质已经开始行使指令功能，来确定牙的形态。釉结细胞中表达 p21，与釉结细胞退出细胞周期，继而分化有关。釉结产生的信号分子有 SHH、BMP1、BMP2、BMP4、BMP7、FGF4、FGF9 和 Wnt10a、Wnt10b。这些增生信号影响上皮和间充质，导致未来的牙尖区进一步生长。最后釉结细胞发生凋亡，釉结消失。以后，在多尖牙的牙尖顶部出现继发性釉结，也产生与原发性釉结相同的信号分子，控制牙尖周围的细胞增生和分化（表 2-1）。从咬合区至牙尖区信号分子的梯度变化与牙尖发育中细胞分化的梯度有关。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

信号分子维A酸与牙发育关系较密切，其在牙发育中的作用尚不清楚。除信号分子、受体、转录因子外，细胞外基质在牙发育中也起重要作用。基底膜是位于成釉器和牙乳头两个相互作用的组织间独特的细胞外基质，其中的分子或通过基底膜扩散的分子在调节牙发育过程中起重要作用，特别对FGF家族更是如此。FGF在基板中与硫酸肝素结合，对于FGF的信号转导非常重要。基底膜中的蛋白多糖对Wnt的浓度有调节作用。另外，细胞外基质腱蛋白、胶原等都在牙发育中起作用。

表2-1　牙发育中分子-组织相互作用

发育阶段	形态	组织相互作用	有关分子
发育前	双层口腔上皮	神经嵴细胞迁移	Wnt与神经管和神经嵴细胞迁移有关
起始	牙发育开始（上皮增厚）	出现上皮板	上皮FGF8诱导间充质Msx-Dlx-Barx表达，牙蕾将形成
蕾状期	出现牙蕾	上皮-间充质相互作用，釉结将出现	Pax9在间充质表达，诱导牙蕾形成，蕾状末期间充质BMP4表达诱导釉结形成
帽状期	成釉器游离端凹陷，牙胚形成	形态发生的开始，牙乳头形成，间充质开始起主导作用	釉结为信号中心，通过产生SHH、BMP2、BMP7和FGF4诱导牙尖形成，牙型由间充质确定
钟状期	成釉器分化4层	牙冠形态得到确定，原发釉结消失，继发釉结位于未来牙尖处，牙乳头、成釉器出现组织分化	继发性釉结产生信号分子，主要有FGF和BMP家族，细胞外基质硫酸化蛋白多糖出现在基底膜，有利于生长因子的活性
硬组织形成期	牙本质、釉质形成	继发性釉结释放多种信号分子，始于牙尖区向牙颈部蔓延，成牙本质细胞和成釉细胞分化，形成硬组织基质	成牙本质细胞和成釉细胞终末分化，分泌牙本质和釉质的基质蛋白

第二节　釉质的发生

釉质是成釉器内釉上皮分化成的成釉细胞所形成的。釉质形成始于牙胚的钟状期晚期。成釉器的其他成分如外釉上皮、星网状层和中间层起重要的支持作用。当釉质形成时，内釉上皮不同部位的细胞处于釉质形成的不同阶段，但是在釉质发育完成时，每个成釉细胞都经历了一个相似的生命周期。因此，本节将根据成釉细胞生命周期的各个阶段来阐述釉质的形成。在不同的牙，釉质形成的时间、速度以及牙的形态有所不同。

一、成釉细胞的生命周期

成釉细胞的发育一般可分为以下5个期（图2-13）：

- 分泌前期（presecretory stage）
- 分泌期（secretory stage）
- 转化期（transition stage）
- 成熟期（maturation stage）
- 成熟后期（post-maturation stage）

1. 分泌前期（presecretory stage）　包括成釉细胞分泌釉基质前的所有活动，其中包括前成釉细胞分化、基板的形成和吸收。在钟状期，内釉上皮停止分裂，分化为成釉细胞，此分化开始于未来的牙尖部，向颈部扩展。分化期间内釉上皮细胞从立方形变为柱状并发生极化，即细胞核从近基底膜处转向星网状层的方向。这些变长了的细胞称为前成釉细胞（preameloblast）（图2-14）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

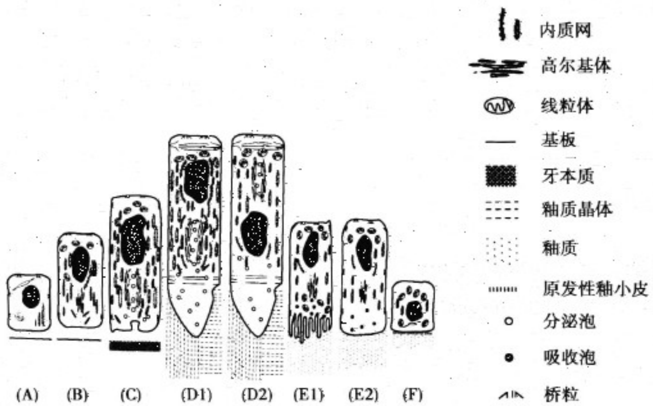


图 2-13 成釉细胞的发育分期

（A）内釉上皮 （B）开始分化、细胞核远离基底膜，细胞内邻近基底膜区出现分泌相关的细胞器 （C）开始分泌最初的无釉柱釉质 （D）细胞向后退缩，Tomes 突形成，釉质持续分泌。细胞核位置可有不同（D1、D2）（E）釉质厚度完成后，成釉细胞失去 Tomes 突，釉质进入成熟期，此时细胞出现刷毛缘和平滑缘交替现象 （F）釉质发育完成，细胞变短，对釉质起保护作用

前成釉细胞核大、椭圆形，高尔基体较小，位置靠近中间层；近牙乳头侧的胞质中出现粗面内质网、大量的游离核糖体、线粒体及小泡。相邻的内釉上皮细胞之间有缝隙连接，与牙乳头之间有基板分隔。一旦牙乳头中的成牙本质细胞分化完成，基板就会消失。前成釉细胞通过胞吐作用释放酶，降解基板，然后通过内吞作用吸收降解产物。基板降解后的短时间内，前成釉细胞和成牙本质细胞直接接触，相互诱导。随着釉基质的继续形成，进入成釉细胞间的成牙本质细胞突的尖端就被釉基质包围，结果形成釉梭。

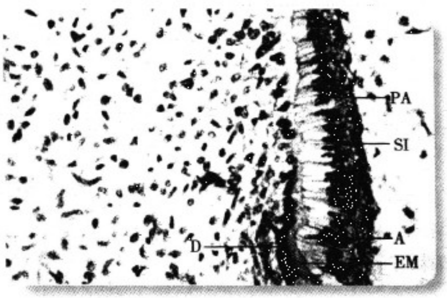


图 2-14 前成釉细胞

PA：前成釉细胞 SI：中间层 A：成釉细胞 D：新形成的牙本质 EM：新形成的釉基质

终末分化的前成釉细胞，核位于近中间层处，线粒体在细胞核与细胞膜间，内质网和高尔基体增大，位于近牙乳头的胞质中即以后釉基质分泌处。前成釉细胞长约 40μm，宽约 5μm。细胞与中间层细胞借桥粒连接，形成近端终棒（terminal web），相似的终棒以后形成在成釉细胞的分泌侧。近牙本质处的胞膜变得不规则，出现许多突起和小凹，胞质中出现小泡。分泌前期的结束意味着细胞分化的完成，即形成成釉细胞。当成牙本质细胞分泌第一层牙本质基质后，成釉细胞即进入分泌期。

分泌前期虽然以细胞分化和形态分化为主，但前成釉细胞也合成并分泌少量类似于釉基质的蛋白质。这些早期分泌的蛋白可能被牙乳头发育中的成牙本质细胞吞噬，其意义尚不清楚，有人认为与上皮 - 间充质的相互作用有关。

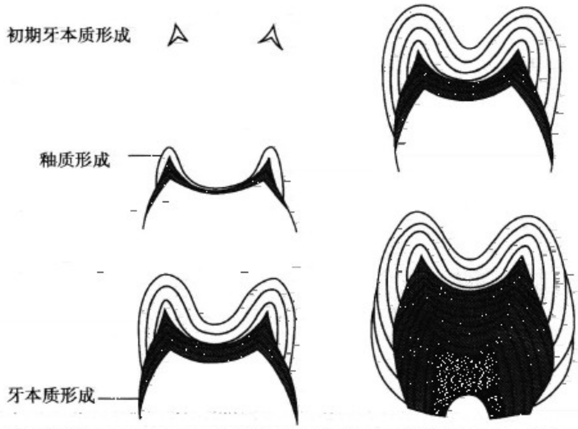
2. 分泌期 成熟的分泌期成釉细胞长 35 ~ 50μm，宽 5 ~ 10μm，核位于近中间层方向，核的近牙本质侧有许多成串的粗面内质网，平行于细胞长轴，其间有发达的高尔基体。在成釉细胞的远端，托姆斯突（Tomes process）基底部的细胞间为终棒，是由成排的桥粒和紧密连接构成的，与桥粒连接的张力细丝在细胞内走行，在 Tomes 突和细胞其余的部分之间形成不完全的隔。终棒为带状环绕细胞，能有效地隔开发育中的釉质和成釉器，因此，所有的分泌和对釉质的修饰都是由 Tomes 突完成的。成釉细胞与中

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

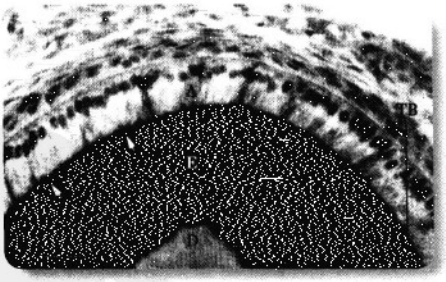
间层细胞之间有缝隙连接和桥粒。缝隙连接为成釉细胞间、成釉细胞和中间层细胞间的通信和协调细胞的活动提供了基础。基质的釉蛋白在内质网中组装，由转运泡携带至高尔基体进行糖化和硫酸化，然后包装至分泌颗粒中。分泌颗粒直径约 0.25μm，沿微管被转运至细胞的分泌端分泌出细胞。

最初的釉质形成在已分泌的牙本质表面，位于牙尖或切缘的部位，并以此为中心向外周成层扩展，层与层之间留下生长线 [图 2–15（A）]。分泌开始时，随着薄层釉基质的形成，成釉细胞后退。这层最初的釉基质分泌后，成釉细胞的分泌端变成锥体形，即所谓的 Tomes 突。新释放的釉基质蛋白在电镜下为点状物（stippled material）。最初形成的釉质无釉柱，称为无釉柱釉质。在成釉细胞获得 Tomes 突后，釉柱开始出现。

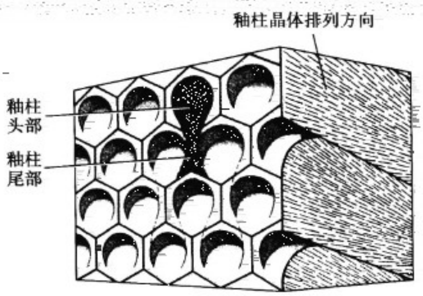
Tomes 突的形态与釉柱的结构有关。在不断生长延长的 Tomes 突之间，出现最初的釉基质，与 Tomes 突交错排列，这些首先形成的釉基质构成釉柱外围的壁（即釉柱的尾部），Tomes 突占据釉基质的凹陷处，开始形成釉柱的核心部分（即釉柱的体部），所以成釉细胞有 2 个主要的分泌部位。切片上见成釉细胞在釉质中留下三角形形态 [图 2–15（B）]。此种表现实际上是 Tomes 突轮廓的假象，但 Tomes 突的尖端实际为三角形，有一个形成面和一个非形成面。去除 Tomes 突后，暴露的釉质表面由许多坑（pits）构成，坑内容纳 Tomes 突。此坑有 3 个相对倾斜的壁和一个倾斜较小的底。坑的底代表釉柱，由 Tomes 突远端倾斜的形成面所形成。坑的壁代表由 Tomes 突近端部分的面形成的柱间质。由于坑底是斜的，底部的釉质与柱间质相混 [图 2–15（C）]。



（A）



（B）



（C）

图 2–15　釉质形成

（A）釉质、牙本质形成方式 （B）釉质形成期切片示成釉细胞及釉基质（“A” 为成釉细胞，箭头示 Tomes 突，“TB” 为成釉细胞的细胞连续形成的终棒）（C）釉质表面形成的坑

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

当基质的分泌达 50nm 时，出现最初的磷灰石晶体，所以在釉质中绝不会见到类似于前期牙本质或类骨质的区域。最初的晶体呈薄而小的针状。发育中的釉质晶体与成釉细胞 Tomes 突的表面呈直角排列，因此围绕 Tomes 突的锥体外形，形成晶体方向的突然变化，可以解释光学显微镜下釉柱部分和边界部分（即釉柱和柱间质）。在人的釉质，晶体排列在釉柱的体部与釉柱长轴平行；在釉柱的尾部与釉柱长轴倾斜约 60°。从三维角度看，一个釉柱由一个以上的成釉细胞形成；每个成釉细胞与一个以上的釉柱发育有关。但在釉柱与成釉细胞数量的关系上是"一个釉柱，一个成釉细胞"（one enamel rod，one ameloblast）。

一旦釉质基质达到成牙的厚度，分泌期即结束。此时 Tomes 突消失，成釉细胞在釉质表面形成一层无釉柱釉质。但此层不是绝对存在。关于控制分泌期开始和结束的信号目前还不清楚。

3. 转化期（the transition stage）　刚形成的釉质中水和蛋白质的含量高，矿化程度低。将此釉质转化为充分矿化的过程为釉质的成熟。釉质的成熟也是由成釉细胞完成的，但与分泌期的成釉细胞有很大区别。成釉细胞由分泌期向成熟期的转变的一段时间称转化期。此期开始于分泌期结束。有两个标志：①成釉细胞形态学变化；②成釉细胞凋亡。釉基质形成后，成釉细胞失去 Tomes 突，变短，蛋白质合成相关的细胞器由于自吞噬减少，许多成釉细胞（25% ~ 50%）死亡。成釉细胞和釉质间出现有半桥粒的基板。多数釉原蛋白被移除。

星网状层细胞也有显著变化。这些以前呈星状并且由细胞外间隙分开的细胞变得排列紧密，与中间层及外釉上皮一起，在成釉细胞下方形成一个乳头层。

4. 成熟期（maturation stage）　釉质厚度完成后，釉质具备了成熟釉质的形态特征，但矿化只达 30%，釉质由此时转化为釉质最终形式的过程即成熟。此过程中，釉质充分矿化。无机成分（主要是羟基磷灰石）增加使晶体宽度、厚度增加，晶体间隙减小。釉质中有机物和水减少，蛋白含量从原来的 30% 减至 1% 以下，剩余的蛋白质种类也有变化，小的肽类和氨基酸分子、大的蛋白质（非釉原蛋白）与晶体结合。釉原蛋白较非釉原蛋白容易被移除可能是因为前者更具能变性，容易被增大的晶体挤至表面。成熟期大多数水也被移除。成熟实际上是一个持续的过程，早在分泌期就开始了。

釉质成熟期的变化由成釉细胞完成。此期开始的标志是成釉细胞远端出现刷毛缘（ruffle-ended，RE），也称纹状缘（striated border）。此种形态与远端胞膜的平滑缘（smooth-ended，SE）交替，在整个成熟期约交替 5 ~ 7 次。在刷毛缘时，细胞远端有紧密连接，将细胞连接在一起，使细胞间为非渗透性的，而细胞的近端无连接复合体。刷毛缘细胞的功能可能与矿物离子进入釉质有关，此时细胞的钙 ATP 酶活性增加、钙离子运动活跃，局部 pH 正常，有利于钙化。当局部 pH 呈微酸性时（低至 5.8），成釉细胞失去刷毛缘，变为平滑缘状，此变化很快，常导致细胞间大的间隙出现，近端的细胞连接变得疏松或消失，而基底部的细胞连接变得更紧密，可能有利于有机物和水的吸收（图 2-16）。

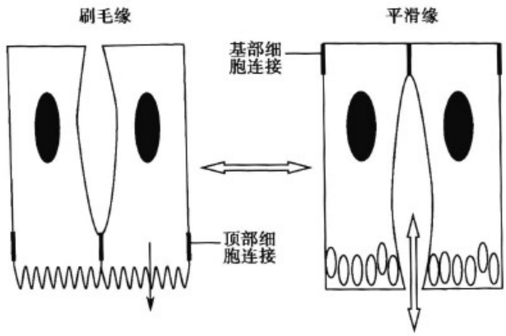


图 2-16　釉质成熟期的成釉细胞形态

刷毛缘（ruffle-ended）形成时有助于矿物质进入釉质，平滑缘（smooth-ended）形成时有助于釉质有机物的吸收

成熟的另一个过程是一组釉基质蛋白酶降解釉质蛋白为小分子蛋白，此过程是连续的，并且不受成釉细胞控制。釉质溶解素（enamelysin）是一种基质金属蛋白酶，其活性受组织金属蛋白酶抑制剂调节，在釉质形成的分泌期随釉基质一同分泌，可能与此期限制性蛋白溶解有关。分泌期的基质变化包括釉原蛋白羧基端的劈裂（cleavage）、釉蛋白（enamelin）和鞘蛋白的初加工，所以该酶于釉柱鞘区活动。在分泌期后转化期釉质溶解素的产生减少；活性更强的丝氨酸蛋白酶开始发挥作用，持续于整个成熟期。丝氨酸蛋白酶去除釉质晶体间的釉原蛋白，使晶体的宽度和厚度增长。成釉细胞也吸

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

收和降解这些蛋白的降解产物。此过程的机制不清，可影响釉质后期的矿化。

釉质成熟活动的直接结果是获得矿物含量（大部分为钙和磷），失去蛋白质和水。在脱矿切片中容易见到基质蛋白的失去和矿物质的获得。牙尖处有机基质含量少，矿物质含量多，因此染色浅或完全无染色（釉质空隙）；相比之下，颈部有较高的蛋白含量，染色深。成熟过程中，釉柱的中心或头部矿化较强。釉柱的周围区和釉柱的尾部仍可见有机物。用 Grenz X 线可见釉柱间的间隙，说明其矿物含量低。颈部和中央沟区最后矿化，很少达到牙尖的矿化程度。此区的成釉细胞在矿化完成前失去功能。不完全矿化区如点隙和牙尖的基底区可能与龋齿的好发有关。

5. 成熟后期（post-maturation stage）　釉质成熟后，成釉细胞即呈扁平状，偶见在釉质窝沟深部仍为柱状。在釉质和细胞间有 1μm 厚的无定形蛋白质层，称为原发性釉小皮（primary enamel cuticle），可能是釉质成熟期挤出的物质，或者是由蜕变的成釉细胞所分泌。成釉细胞本身借半桥粒和基板附着在牙面。成釉器的其他层也不明显，可能与牙囊融合。此时的成釉器上皮称为缩余釉上皮，在牙萌出时保护釉质。缩余釉上皮在牙萌出过程的其他功能尚不清楚。一旦牙萌出至口腔，其表面与唾液相互作用，使矿化程度增强，有人称为萌出后成熟（post-eruptive maturation）。

二、发育中釉质的蛋白质

成熟釉质中的蛋白质和肽类占釉质重量的 1% 以下，而在不成熟釉质中可占 25%～30%。发育中釉基质几乎全部为蛋白质。釉基质蛋白在释放后很快降解，因此纯化和鉴定困难。一些血清中的蛋白质特别是白蛋白也可进入釉质。因此釉基质是复杂的蛋白质混合体。组织特异性蛋白（产自成釉细胞）和成釉细胞的活性在釉质成熟中是该矿化组织发育的关键。釉基质蛋白可分两类，即釉原蛋白和非釉原蛋白。

釉原蛋白（amelogenin）是一组主要的釉基质蛋白，约占发育中釉基质蛋白的 80%～90%。人的釉原蛋白由 178 个氨基酸残基构成，分子量约 20 000kD。其基因位于性染色体。不同种属的釉原蛋白非常相似。由于其 RNA 的交替剪切，在釉质中发现许多釉原蛋白的同型异构体，见于分泌期成釉细胞（免疫组化法），是成釉细胞特异性分泌产物。釉原蛋白一般是疏水性蛋白，在其羧基端有一个亲水系列。釉原蛋白含较高的脯氨酸、谷氨酸、组氨酸和亮氨酸。它们在溶液中有聚集倾向并形成超分子结构 20nm 直径的釉质纳米球（nanospheres）（图 2-17）。每个纳米球由大约 100 个釉原蛋白分子聚集的团块构成。前述的点状物（stippled material）相似于纳米球，由成釉细胞分泌于釉质生长前沿。釉原蛋白进入釉基质后，并不像牙本质和骨基质蛋白那样形成分散的沉积带，而是分散于整个釉质中，使釉基质成为凝胶状，分子和离子在其中可迅速扩散。这个特点对于大晶体的形成非常重要。

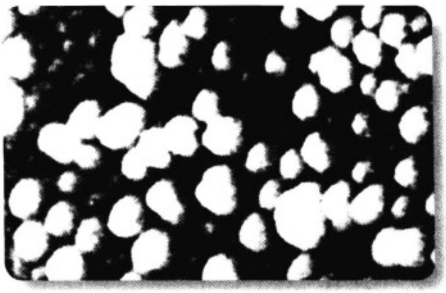


图 2-17　釉基质中的纳米球

非釉原蛋白在晶体生长方面的作用了解得较少。此组蛋白中主要的有釉丛蛋白（tuftelin）、鞘蛋白 [sheathlin；也称成釉蛋白（ameloblastin）] 和釉蛋白（enamelin）。釉丛蛋白似乎限于釉质牙本质界（enamel-dentinal junction，EDJ）区附近，可能是年轻成釉细胞和前成牙本质细胞的产物。由于其分布的特点，据认为可能在诱导和起始矿化方面起作用，或者也作为釉质和牙本质之间的结合物。鞘蛋白最初分泌时见于釉柱和柱间质，但在釉质深部主要分布于柱鞘。发育中的釉质柱鞘区矿化低。enamelin 是一种酸性磷酸化及糖化蛋白，是最大的釉基质蛋白，主要分布于釉柱。其磷酸化性质及最初聚集在晶体生长端的特点提示它可能与晶体生长或成核有关。enamelin 可能是限制晶体生长的因子。

釉基质蛋白在釉质发育中的确切作用尚未彻底阐明。目前提出的假说主要有：釉原蛋白和非釉原

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

蛋白可结合矿化离子使之成为晶体，控制晶体生长，给生长中的晶体提供支持，在矿化期起保护作用。成釉蛋白可能与釉柱外形确定有关，也可能有细胞信号作用（包括釉丛蛋白），蛋白裂解产物可能有控制分泌的作用（图 2-18）。

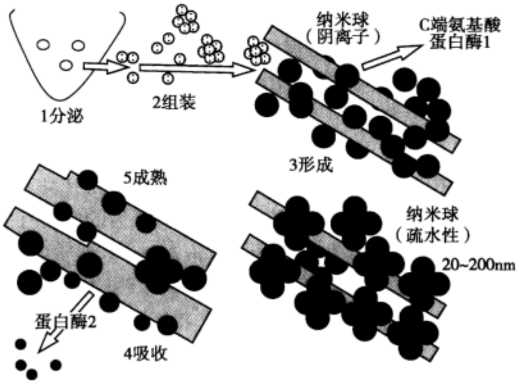


图 2-18 釉原蛋白控制晶体生长的示意图

三、釉质的矿化

如前所述，釉质的矿化在釉基质形成 50nm 时就开始了。至分泌期结束釉质的矿化达牙萌出时矿化程度的 30%。釉质发育的成熟期完成了绝大部分的矿化。随着蛋白质和水分的移除，釉质中无机成分（主要是羟基磷灰石）增加使细小的晶体宽度、厚度增加，晶体间隙减小。

成熟期氢离子的产生导致基质酸性的增加，此酸性持续增加将使晶体溶解。在分泌期，釉基质蛋白或多肽降解形成的两性离子可发挥缓冲作用，防止 pH 的下降。但在釉质成熟期，基质蛋白的含量明显下降，必须有另外的缓冲系统发挥作用。由碳酸酐酶产生的重碳酸阴离子可能在釉质成熟期发挥缓冲作用。碳酸酐酶在刷毛缘状成釉细胞的远端胞质中的含量特别多。成熟期釉基质的 pH 在刷毛缘下方下降，表明随着这些细胞向基质输送钙，其缓冲机制跟不上氢离子形成的速度。有人认为刷毛缘下釉质活跃的晶体生长导致的 pH 下降可能使细胞转变为平滑面。刷毛缘细胞转变为平滑面细胞后，pH 突然上升。平滑面成釉细胞远端疏松的细胞连接使液体内流及缓冲成分如碳酸盐和血清蛋白易于进入釉质。pH 再平衡的建立可能是平滑面细胞向刷毛缘细胞转化的信号机制之一。同时，晶体宽度和厚度的增长使晶体间互锁。最初晶体通过成核部位的融合而增大，一旦釉质结构得以建立，晶体则主要是长度的增加。

矿化过程中，钙主要通过成釉器进入基质，其途径可能有细胞外和细胞内两种。细胞内途径可能有主动的离子转运；而被动的离子扩散既可能存在于细胞外途径，也可能存在于细胞内途径。釉质矿化的特异性启动因子尚未得到确定。有人提出釉丛蛋白引导最初的晶体生长及成核，也有人认为最初的成核可能发生在牙本质并且越过了釉质牙本质界，基质小泡在一些部位的牙本质参与矿化的启动，但在釉质尚未报道。有人提出最初的晶体在釉原蛋白自组装成的纳米球间形成，通过这种釉原蛋白间隙的构建，为釉柱定向并控制其生物矿化。

四、釉质形成缺陷

釉质形成缺陷常见。人群中 8%~80% 至少有一个牙受累。目前约有 100 种以上的釉质形成缺陷。釉质发育不全（amelogenesis imperfecta）为一组相当常见的遗传性病变，只累及釉质。发病情况在 1/14~1.4/1000。根据所累及釉质发育阶段的不同，可分为以下三种：①发育不全性（hypoplastic），表现为釉质薄，表面多沟、凹，但颜色正常；②钙化不全性（hypocalcified），釉质矿化程度低下，色暗，容易碎裂；③成熟不全性（hypomaturation），釉质色暗，表面斑点状，易碎裂。还有一些包括系统代谢异常的遗传性疾病，可见釉质薄、有凹陷，同时伴其他组织病变，而系统性外胚层或表皮病变（如大疱性表皮松解症）有许多亚型，都伴有釉质发育不全。

最重要的影响釉质发育的饮食因素是氟化物（>5ppt），釉质有不同程度的表层下矿化不全。发热性疾病可影响釉质发生，导致形成不良的釉质条带。某些药物如四环素可影响釉质发生，掺入釉质，形成黄色区。Rh 因子不匹配时导致胎儿红细胞增多症，血红蛋白残基掺入发育中的釉质，使釉质有褐色色素沉着。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第三节　牙本质的发生

牙胚发育至钟状期晚期，成釉器和牙乳头分化充分，牙本质首先形成。一般来说，一旦牙本质开始形成，牙乳头即成为牙髓。与釉质不同，牙本质形成活动将持续终生，并根据需要可形成新生牙本质。牙本质形成是连续性过程，为了便于叙述，将其分为成牙本质细胞分化、牙本质基质形成和基质的矿化几个阶段。

一、成牙本质细胞的分化

牙发育期间，牙乳头细胞不断分裂，包括牙乳头外围的细胞，它们位于近基底膜处，为椭圆形或多角形细胞，称为前成牙本质细胞（图 2-19）。最初的成牙本质细胞出现在未来的切缘或牙尖处。前成牙本质细胞开始无发达的细胞器，也没有特殊的方向性。它们向成牙本质细胞分化时，变化迅速。细胞增大，核位于基底部，即离内釉上皮最远处。高尔基体变发达，位于核上方；粗面内质网增大、变扁，平行于细胞的长轴。细胞变长，排列整齐即发生明显的极性化。细胞变长及极性化排列伴随细胞内骨架的重新分布。成牙本质细胞的骨架有肌动蛋白、纽蛋白（vinculin）和波形蛋白，还有巢蛋白（nestin）和细胞角蛋白的表达。成牙本质细胞是结缔组织形成细胞中极性最强的细胞，不会被致密的基质环绕（病理情况除外），始终都处于牙本质牙髓侧表面，只将分泌产物释放在其尖端区。在这些方面成牙本质细胞更相似于分泌性上皮细胞，而不像间充质细胞。其极性的另一个特点是具备特殊的细胞连接。尖端区的结合堤（terminal bar）结构由紧密连接（zonula occludens）和桥粒（zonula adherens）构成。某些神经纤维和 Korff 纤维（科尔夫纤维）穿过成牙本质细胞进入前期牙本质，提示此封闭结构不是完全紧密的。分子示踪实验证明成牙本质细胞层有轻微的渗透性。缝隙连接也在成牙本质细胞间形成，这些通信连接可使成牙本质细胞层分享胞质成分如低分子分泌信使分子，使该层作为一个整体或细胞群对生理刺激作出统一反应。分化中的成牙本质细胞有许多朝向内釉上皮基板的小突起。随着分化的进展，突起的数量减少，剩下一条最明显者（图 2-20）。

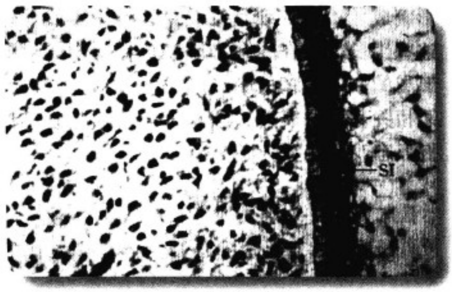


图 2-19　前成牙本质细胞（箭头所示）

I：内釉上皮　SI：中间层

成牙本质细胞的分化有特定的时间、空间模式，开始于未来的牙尖和切缘处，向根方不断扩展。这种进展的控制可能是内釉上皮对其诱导的能力，或者是前成牙本质细胞对某种信号的反应能力，目前的证据支持后者。

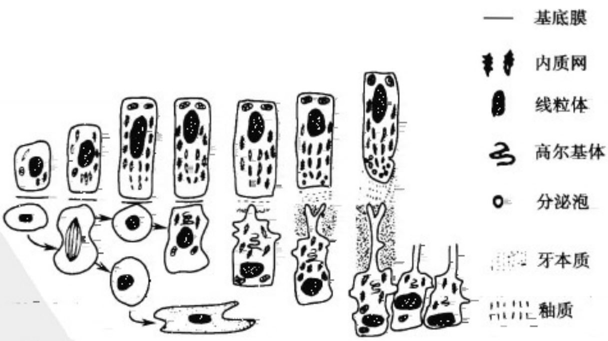


图 2-20　成牙本质细胞分化示意图

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

成牙本质细胞的分化依赖上皮－间充质的相互作用。内釉上皮的基板对成牙本质细胞分化很重要。其分化过程伴随有基板成分的改变，这些改变包括层粘连蛋白、含硫酸软骨素蛋白多糖和釉质蛋白的表达及定位。纤维粘连蛋白和核心蛋白聚糖也聚集在分化的成牙本质细胞远端。目前尚不知道哪种变化启动或控制分化，可能一些未知因子通过基板过快，难以检测。成牙本质细胞分化时，内釉上皮表达TGF、IGF和BMP。细胞培养证明，这些因子可影响成牙本质样细胞的发育和行为，而且这些细胞有上述生长因子的膜受体。虽然还不知道这些生长因子在成牙本质细胞分化中的确切作用，一些假说还是得到了验证。例如内釉上皮形成的、位于基板中的TGF-β成员作用于前成牙本质细胞，通过一系列步骤调节细胞骨架相关基因的表达。细胞骨架是细胞分化过程中细胞器定位的前提，细胞器的重新定位与细胞形态改变有关。

二、牙本质基质的沉积

成牙本质细胞一旦完成分化，即开始形成牙本质基质。基质成分很多，主要为Ⅰ型胶原纤维。在细胞分化和形成最初的胶原纤维时，一些纤维自分化中的成牙本质细胞间穿过，在近基底膜区成扇面状排列，这些纤维称Korff纤维，呈银染色阳性。电镜下由胶原和蛋白多糖构成。这些纤维走行于成牙本质细胞之间，自基板至牙髓，来自于成牙本质细胞下层细胞。成牙本质细胞发育和早期基质形成阶段，还分泌Ⅲ型胶原。随着牙本质基质的沉积，成牙本质细胞向后退缩，留下胞质突起在基质中。伸长的牙本质细胞突起周围的基质最终发生矿化，形成包绕胞质突起的牙本质小管。随成牙本质细胞后退、突起变长，突起的末端和侧方形成许多末端分支及侧支。在成熟牙，这些分支在牙本质中形成许多牙本质小管的分支。成牙本质细胞在牙本质小管中延伸的程度仍有争论。

最初形成的牙本质称为罩牙本质（mental dentine）。罩牙本质基质纤维与DEJ呈垂直排列。此部分罩牙本质在成熟牙用偏光显微镜观察为双折射的。以后形成的牙本质为髓周牙本质，位于罩牙本质深部，其胶原纤维排列更随机。在牙根部最初形成的胶原纤维平行于牙长轴，因此无罩牙本质存在。

新的基质沉积与矿化的幅度相似，所以在牙本质的牙髓侧始终有一层未矿化的基质即前期牙本质。胶原纤维主要由成牙本质细胞的胞体分泌，细胞的突起分泌其他非胶原蛋白，所以胶原和非胶原蛋白复合体形成于前期牙本质和钙化牙本质交界处，即矿化前沿。

成牙本质细胞分泌的牙本质磷蛋白（dentine phosphoprotein，DPP）和牙本质涎蛋白（dentine sialoprotein，DSP）在牙本质基质中是含量仅次于胶原的蛋白，为牙本质特异性蛋白。DPP在牙本质矿化中有重要作用。

三、牙本质的矿化

前期牙本质的矿化有两种方式：①小的矿化晶体出现于细胞外小泡即基质泡中，矿化自此处扩展至整个最初形成的前期牙本质（只见于罩牙本质）；②小的矿化晶体在胶原纤维的间隙处成核。最初的钙化后，所有的晶体都位于胶原纤维内或纤维的表面，晶体沿胶原纤维的长轴排列（图2-21）。这些小的晶体不断生长，扩展至所有的前期牙本质，只有刚刚形成的前期牙本质是非矿化的。晶体平均约100nm长，3nm宽。基质的形成和矿化是密切相关的，通过增加牙本质中矿物质的密度，矿化逐渐进展。随着每天前期牙本质的增加，在髓腔侧形成新的一层，外围的前一天形成的前期牙本质发生矿化成为牙本质。随着前期牙本质矿化为牙本质，矿化牙本质－前期牙本质界的建立，牙乳头即变成了牙髓。牙冠形成期及牙萌出后，前期牙本质持续形成并矿

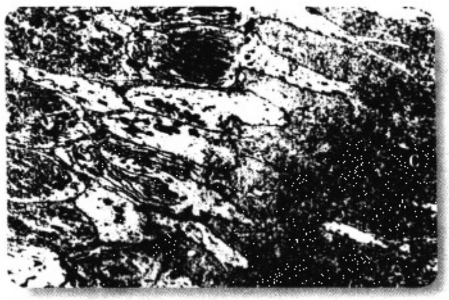


图2-21　成牙本质细胞及牙本质

P：成牙本质细胞突起　C：矿化牙本质

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

化，使牙髓的体积缩小。

牙冠发育和萌出期，牙本质每天形成的量约 4μm 厚，当牙达到咬合后，下降为每天 1μm。增生线的形成据认为是基质形成停顿和矿化改变所致，可能发生在每天代谢最低的时候，较大的代谢变化如出生或疾病可导致此线的增大。牙本质增生性的沉积开始于 EDJ 髓角的尖端处，呈锥形节律性沉积直至牙冠形成。牙冠形成后牙本质形成持续至牙萌出后很久。

在组织学切片上，始终可见发育中牙本质的矿化带，其与前期牙本质的交界不规则，常呈球形（图 2-22），最后融合成完全矿化的牙本质。球形矿化是所有部位牙本质矿化的特点，此种方式的矿化可能是先形成矿化中心，然后矿化围绕此中心进行，再与邻近的矿化球融合，融合失败将导致球间牙本质形成。

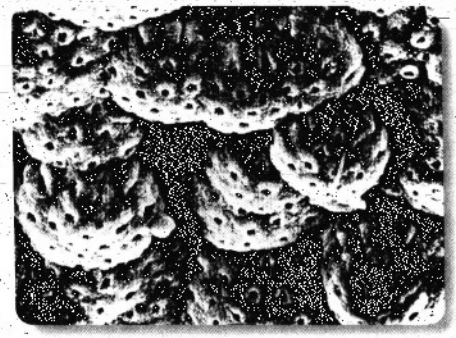


图 2-22　牙本质矿化前沿的钙球

牙本质的矿化机制较复杂，有多种因素参与，但主要受成牙本质细胞的控制。在髓周牙本质，成牙本质细胞转运钙离子至矿化部位，沉积到Ⅰ型胶原上，此过程主要受 DPP 的控制。DPP 为阴离子蛋白质，可结合钙使晶体生长。DPP 浓度高时，可抑制晶体的生长，因此通过控制 DPP 的释放，成牙本质细胞控制牙本质矿化的启动和速度。DPP 在前期牙本质中不存在，主要在矿化前沿聚集，体外可以与钙结合，诱导羟基磷灰石成核，控制晶体生长。在牙本质发育不全的患者，DPP 消失。总之，DPP 在矿化中的作用主要有：①转运钙离子至矿化前沿；②将成核定位于特定区域的胶原纤维；③稳定已经形成的晶体。

除 DPP 外，牙本质基质中还有一些蛋白质在体外具有矿化特性，但由于含量少，在牙本质矿化中的作用较难确定，如骨连接蛋白、骨桥蛋白、DSP、硫酸软骨素等。在罩牙本质中，成牙本质细胞分泌基质泡，内含各种酶包括碱性磷酸酶，可使磷离子在基质泡中浓集，在基质泡内有矿物晶体发育，泡破裂后启动矿化。

第四节　牙髓的发育

牙髓来自于牙乳头，牙乳头是成釉器下方密集分布的间充质细胞团，细胞分裂多，细胞间质少。当成釉器进入钟状期时，牙乳头外围的细胞在内釉上皮的诱导下分化为成牙本质细胞，一些不成熟的树枝状抗原呈递细胞出现在成牙本质细胞周围。一旦成牙本质细胞开始形成牙本质，牙乳头就称为牙髓（图 2-23）。此时的牙髓中为密集的小而未分化的间充质细胞，呈星形，细胞间质少，细胞核相对较大。随着牙髓的发育，这些中心处的细胞将分化为成纤维细胞，胞质增多，出现蛋白合成相关的细胞器，细胞产物释放至细胞外间隙，形成胶原，包埋在基质中。胶原束在牙发育成熟时才出现。早期阶段，基质中糖胺聚糖含量高，并且一直增加，直至萌出时下降，主要为硫酸软骨素。中央部分一些细胞维持不分化状态，为未分化的间充质细胞，保留其以后再分化的潜能。随着发育的进展，在上皮根鞘的诱导下，根部牙本质和牙骨质形成，牙根完全形成后，牙髓的发育方告结束。



图 2-23　牙髓的发育（P 区所示）

钟状期早期有小血管自颌骨进入牙乳头，是未来的牙髓血管，其中数支成为牙髓的主要血管，走行至牙尖

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

区，然后发出许多小的分支，形成位于成牙本质细胞层和成牙本质细胞下层的毛细血管床。而且随着牙本质的形成，成牙本质细胞层的毛细血管数量增加，可见有些毛细血管紧邻前期牙本质，偶尔进入牙本质。淋巴管出现的时间不清楚。成熟牙髓中的巨噬细胞、血管周细胞和淋巴样细胞可能是随血管进入牙髓的。

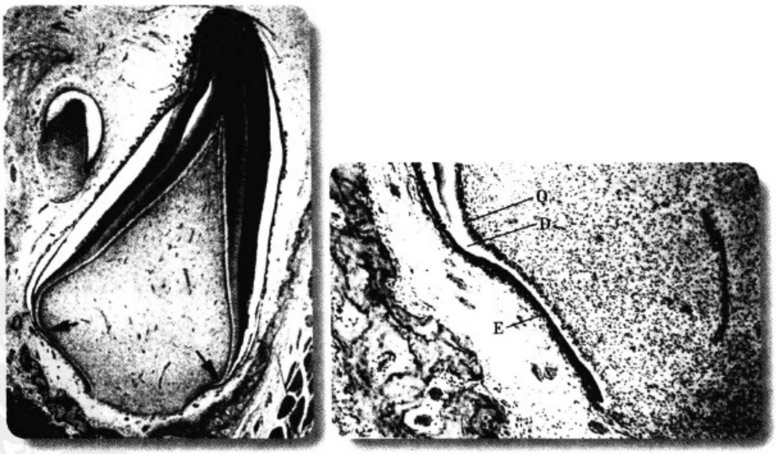
牙发育很早的阶段神经就在附近出现，但神经进入牙囊以后，很久才进入牙乳头。首先进入发育中牙髓的神经纤维来自三叉神经，与血管伴行，这些神经在解剖上虽然属感觉神经，但它们在控制血流方面发挥重要作用，通过控制血流及其直接的营养作用影响牙的发育。发育中的牙髓的成牙本质细胞层表达神经营养素、神经生长因子及脑源性神经营养因子，提示该区域是三叉神经的主要靶区域。自主神经分布出现于感觉神经以后，主要在根髓中。在牙根形成之前，有大量的神经纤维进入牙髓，但最终的分布模式包括成牙本质细胞下神经丛一直到牙根形成后才建立。在牙冠特别是牙尖处，有些感觉神经纤维定位于成牙本质细胞间并且进入牙本质小管，这是主动过程，不只是牙本质持续形成过程中埋入的。

第五节　牙根的发育

牙根的发育晚于牙冠形成，涉及上皮根鞘与牙乳头的相互作用。牙根发育的开始与牙萌出的轴向运动是同时进行的。三种牙胚成分都参与牙根的发育。随着牙冠的持续发育，成釉器颈环细胞继续生长，形成上皮根鞘。上皮根鞘内层细胞诱导牙乳头分化为成牙本质细胞，形成根部牙本质，其他牙乳头细胞将成为牙髓细胞。上皮根鞘还决定牙根的数量即单根牙或多根牙。牙胚的第三个成分即牙囊围绕成釉器、牙乳头和牙根，其细胞将形成牙的支持组织，即在牙根表面的牙骨质、牙周膜和牙槽骨的表层。牙槽骨最初包绕发育中的牙冠，以后包绕牙根，它与牙周膜附着，牙周膜再附着于牙骨质。

一、根部牙本质的形成

牙冠发育完成后，颈环游离端的内、外釉上皮细胞增生成双层细胞的上皮根鞘（Hertwig's epithelial root sheath，郝特威希上皮根鞘），上皮根鞘的游离端即最初的根尖孔。先形成的上皮根鞘向内弯曲 45°，形成盘状结构，此结构称为上皮隔（图 2-24）。上皮隔使最初的根尖口缩小，最后成为根尖孔。上皮隔



（A）　　　　（B）

图 2-24　上皮隔的结构

（A）低倍镜下表现（箭头所示）（B）高倍镜下所见（O 示根部牙本质细胞，D 示牙本质，E 示上皮隔）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

的位置在牙根发育期间维持不变，因为上皮根鞘的生长发生在上皮隔与上皮根鞘的夹角处，而不是在上皮隔的尖端。新形成的垂直部分的上皮根鞘诱导邻近的牙乳头细胞分化为成牙本质细胞，形成牙本质。随着牙根的增长，牙冠开始从隐窝的底部移动，为牙根的继续生长提供空间，而上皮隔仍维持与隐窝底部的位置关系。因此，牙根变长与牙冠𬌗向移动速率相同（图 2-25）。

根部牙本质形成的过程基本与冠部相似，其不同在于两者早期形成的过程有些差别。根部最初的牙本质胶原并不是沉积在上皮根鞘的基板处，而有一层由上皮根鞘分泌的、含釉质蛋白的无定形基质相隔，这些成分形成约 10μm 的透明层（hyaline layer），最初的胶原排列与牙本质表面平行（罩牙本质为垂直）。牙本质形成的速度慢于冠部，钙化球较小，球间牙本质较多。

牙根的形成是通过上皮根鞘的生长实现的，单根牙发育时，上皮根鞘似袖口或管子围绕牙髓细胞，根鞘内层细胞诱导牙乳头细胞分化为成牙本质细胞，形成牙本质。随着第一层基质矿化，根鞘细胞与牙本质表面分离，根鞘由于变性中断，根鞘细胞离开牙本质进入牙囊中，牙囊细胞再移向根部牙本质，与牙本质接触后分化为成牙骨质细胞，分泌牙骨质基质，然后矿化形成牙骨质。随着牙骨质形成，根鞘细胞继续移动，其残余细胞留在发育中的牙周膜中，为上皮剩余（图 2-26）。上皮隔夹角处细胞增生，牙根不断延长，同时伴牙乳头及牙囊细胞的增生。牙的萌出运动为进一步的牙根发育提供空间。



图 2-25　根部牙本质形成牙根变长
D：根部牙本质，箭头示上皮隔

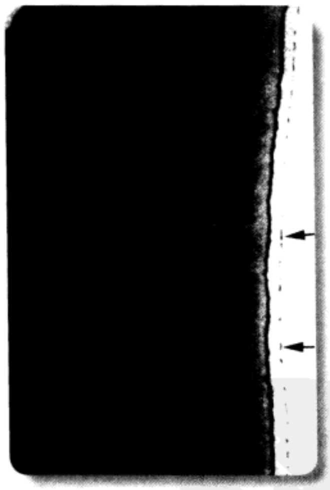


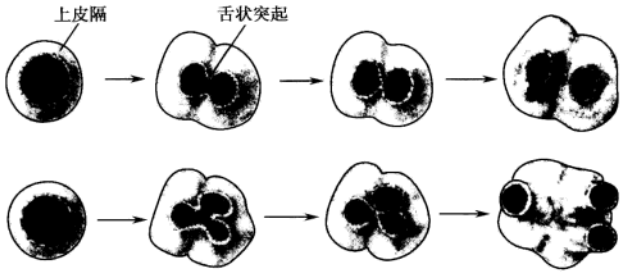
图 2-26　上皮根鞘断裂后，牙囊中的上皮剩余（箭头所示）

因为根部牙本质一旦形成，上皮根鞘就会断裂，所以见不到完整的根鞘，但是上皮隔维持恒定，至牙根发育完成后才断裂，牙萌出至口腔后牙根发育的过程仍在继续。

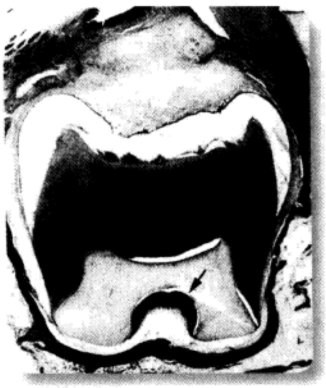
人的多根牙有一个共同的根干，是颈部釉质与牙根分叉之间的部分，位于牙根基底部。一直到根分叉之前，多根牙的牙根发育基本与单根牙相似，多根牙的形成是由于上皮隔生长的不一致造成的。上皮隔出现舌状突起，一直生长至与对侧的一个或两个舌状突起联合，将原来根干的 1 个开口变成 2 个或 3 个开口。上皮隔的细胞在每个开口处继续增生，形成新的上皮隔，随着牙根的伸长，为多根牙的每个牙

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

根的形态勾画出轮廓。舌状突起接触的区域在根分叉处形成上皮桥（图 2–27）。上皮桥处内层细胞诱导形成成牙本质细胞，然后形成髓室底部连接各个牙根的牙本质。以后根鞘细胞断裂，如单根牙一样，在此区牙本质表面将形成牙骨质。



（A）



（B）

图 2–27　多根牙牙根的形成

（A）多根牙牙根形成示意图　（B）多根牙的根分叉处牙本质形成（箭头所示）

二、根部牙本质形成异常

正常时上皮根鞘两层细胞间无星网状层和中间层分化，出现时可能与根面局部釉质形成有关。此时，内层的根鞘细胞可分化为有功能的成釉细胞并形成少许釉质，称釉珠（enamel pearls），常见于恒磨牙的牙根间。上皮根鞘的延续性和增生、变性的时间对于正常牙根发育非常重要。如果在牙本质形成之前上皮根鞘的连续性中断，如上皮细胞缺乏或缺陷，成牙本质细胞将不能分化，在上皮的缺陷处将不能形成牙本质，结果是形成与牙周韧带相通的根管侧支（accessory root canal），可发生于根的任何部位，特别是根尖区 1/3 处 [图 2–28（A）]，也见于多根牙的根分叉区，这是由于上皮隔的舌状突起不完全融合所致，也形成副根管。另一方面，如果上皮根鞘不在适当的时间变性，仍附着于根部牙本质表面，牙囊的间充质细胞就不能与牙本质接触，此处就不会有成牙骨质细胞分化及牙骨质形成，因此，根部出现无牙骨质附着区，导致牙本质暴露，可发生在根面任何区域，颈部多见 [图 2–28（B）]。随着增龄变化导致的牙龈退缩，可出现此区的颈部牙本质过敏。如果在根部发生部分矿化后发生上皮根鞘异位，最终可导致其余部分牙根弯曲或扭曲，称为弯曲牙或牙根变形（dilaceration or root distortion），此情况多见于恒

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

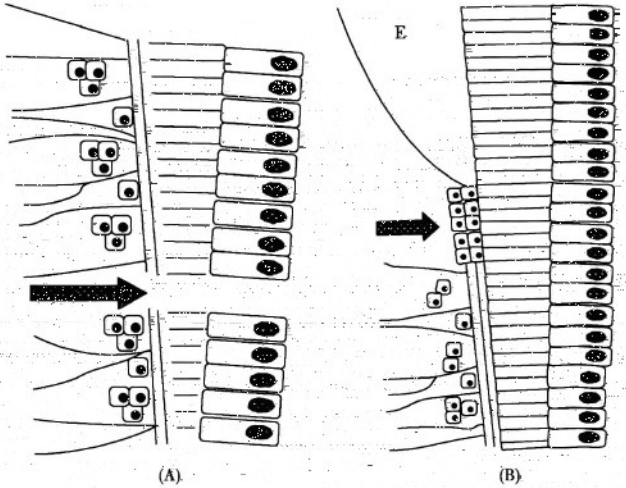


图 2-28　上皮根鞘发育异常示意图

（A）上皮根鞘局部断裂将造成根管侧支形成

（B）上皮根鞘局部黏附在牙本质上将造成根部牙骨质缺乏

牙列。通常由于对乳牙的外力打击，造成其下方部分矿化的恒牙根的异位而引起。弯曲牙根可能妨碍牙的萌出，也可造成矫治和拔牙的困难。

（高　岩）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第三章

牙髓牙本质的结构与功能

第一节　牙髓的结构与功能

牙髓是位于髓腔内柔软的疏松结缔组织，包括多种细胞、细胞外基质、神经、血管和淋巴管。牙髓的主要功能是形成牙本质、营养、感觉、防御和修复。牙髓由牙乳头发育而来，而牙乳头源自神经嵴来源的间充质。

一、牙髓形态学分层

牙本质的内面构成牙髓腔的边界，牙髓是位于牙髓腔内的疏松结缔组织。在解剖学上牙髓被分为两部分，位于牙冠部的部分称为冠髓，这部分包括伸向牙尖或切缘的髓角，另一部分位于牙根内，称为根髓。无论冠髓还是根髓的外形都与其外面的牙本质边界一致。牙髓是细胞、细胞间质、纤维成分、血管、淋巴管和神经的均匀组合。在组织学上牙髓可人为地分为四层：成牙本质细胞层、无细胞层、多细胞层和固有牙髓。

（一）牙髓边缘区

1. 成牙本质细胞层　牙髓的边缘区邻近钙化的牙本质，结构层次非常明显，中等放大倍数的显微分析照片上尤其清楚。一层柱状成牙本质细胞紧邻前期牙本质排列，呈栅栏状，不同位置、不同分化程度的成牙本质细胞大小形状也不一致（图 3-1）。成牙本质细胞的主要功能是形成原发性牙本质，尽管它也能分泌原纤维。成牙本质细胞具有感觉功能。

2. 无细胞层　紧邻成牙本质细胞层的深层称为无细胞层，也称乏细胞层或 Weil 层。此层主要成分是毛细血管丛、细小的神经纤维（无髓鞘的 C 纤维）和一些胶原蛋白。电镜下此区可见有许多成纤维细胞的突起，因此，更确切地说此区应是无核区。神经纤维和血管都延伸到成牙本质细胞层，穿过本层的纤维在常规 HE 染色切片上难以见到，但在银染切片上却非常明显。牙本质形成活跃的区域无细胞层范围缩小，而且并不是所有牙齿都存在此层，也可能同一牙髓中其厚度不一。当牙齿受到外界刺激，继发性牙本质形成，相应邻近区域就没有无细胞层，而其他区域仍然存在此层，当牙本质刺激减弱或去除，无细胞层又再现。无细胞层的再现就意味着成纤维细胞被激活，开始产生纤维和分泌基质，或者取代受伤破坏的成牙本质细胞。一般无细胞层厚约 40μm。



图 3-1　成牙本质细胞模式图

3. 多细胞层　无细胞层的深层称为多细胞层，内含丰富的基质；此层广泛分布于冠髓和根髓，但根髓中较不明

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

显，尤其是根尖部分。多细胞层含有成纤维细胞和未分化细胞，未分化细胞可分化为成牙本质细胞，以维持成牙本质细胞的数量。不同的牙，即使同一颗牙的不同区域，此层表现迥异。无细胞层和多细胞层往往在胚胎牙髓中并不清晰，或者是缺如，直到牙本质开始活跃形成。随着牙髓年龄增长，无细胞层和多细胞层越来越显著，但近根尖区除外。

（二）牙髓中央区

被多细胞层围绕的是牙髓的主体部分，称为固有牙髓或髓核；它包含牙髓主要的支持系统，富含血管和神经，主要的细胞是成纤维细胞，主要的细胞外成分是基质和胶原蛋白。牙髓被硬组织包被，血管进出仅能通过远方的根尖孔，这种环境独一无二。

二、牙髓细胞

1. 成纤维细胞　成纤维细胞是牙髓的基本细胞，数量最多，曾被称为牙髓细胞，它们分布于整个牙髓，尤其密布于多细胞层。牙髓的成纤维细胞和身体其他部位结缔组织中的成纤维细胞相似，年轻牙髓中成纤维细胞数量比胶原纤维多得多。

成纤维细胞形态随分化程度的不同而变化很大，Baume 称这些不同成熟程度的细胞为间充质细胞、成牙髓细胞和牙髓细胞。造成这些明显差别的原因部分是因为这些细胞形成钙化组织的能力相异，正常的结缔组织成纤维细胞显然不具备这种能力。早期分化的成纤维细胞呈高柱状，细胞之间通过每个细胞发出的突起发生接触，互相交织成网状，这种接触形式称为缝隙连接。未成熟的成纤维细胞的超微结构显示出初步发育的阶段特征，如不显著的高尔基复合体、丰富的游离核糖体、散在的粗面内质网等。牙髓中成熟的成纤维细胞外形一般为星形，核呈卵圆形，深染，胞质淡染，均匀。电镜下发现成纤维细胞内有丰富粗面内质网和线粒体以及发达的高尔基复合体，它合成并分泌大量的细胞间质，也就是Ⅲ型胶原蛋白和基质（如蛋白多糖和糖胺聚糖），一些用氚标记脯氨酸的放射自显影研究证实了胶原蛋白的合成和分泌过程。成纤维细胞不仅是胶原蛋白的主要合成者，而且由于细胞内存在消化胶原成分的溶酶体酶，所以它还能降解胶原蛋白，也参与牙髓中胶原纤维的再吸收。牙髓成纤维细胞也合成分泌硫酸软骨素，这是一种主要的硫酸黏多糖。

牙髓成纤维细胞的形态往往反映牙髓组织的功能和活性，随着年龄的增大，牙髓成纤维细胞数量减少，形态呈扁梭形，细胞器减少，合成和分泌功能下降。成纤维细胞在创伤修复机制中起着非常重要的作用，在适当刺激下，如暴露的前期牙本质或炎症细胞释放的生长因子、某些骨形成蛋白、细胞因子或炎症介质的刺激，成纤维细胞可出现有丝分裂，分化为成牙本质细胞样细胞，可以认为牙髓成纤维细胞是成牙本质细胞的前体细胞。

2. 防御细胞　牙髓最主要的防御细胞是组织细胞或休止游走细胞，这些细胞通常位于血管周围，它们有细长的分支突起。当需要时，这些细胞能收回突起转化为巨噬细胞。此外，牙髓的防御细胞还有树突细胞、淋巴细胞、肥大细胞等。

（1）组织细胞和巨噬细胞：在适当的刺激作用下，血管周围的未分化间充质细胞可分化为固定或游走的组织细胞，游走的组织细胞（巨噬细胞）也可来源于由血管内迁移而来的单核细胞，这些细胞具有很强的吞噬能力，能够吞噬细菌、异物（牙内糊状物、氧化锌等）、死亡细胞或其他碎片，并介导炎症反应。牙髓的巨噬细胞和树突细胞功能与朗格汉斯细胞相似，在大鼠的正常牙髓中能找到，这些细胞与牙髓免疫监视有关，发挥抗原递呈作用。研究显示，巨噬细胞除了组织细胞的特征外，还表现出典型的树突状外形、Ⅱ型分子表达强阳性、分布于深部牙髓的血管周围和成牙本质细胞层周围等与牙髓树突细胞相似的特征。炎性牙髓中最多的白细胞是中性粒细胞，嗜酸性粒细胞和嗜碱性粒细胞偶可见到。尽管中性粒细胞并不常规存在于健康牙髓中，但牙髓受到损伤和有细胞死亡时，它们就迅速从附近的毛细血管和小静脉迁移到该区域。中性粒细胞能有效地破坏和吞噬细菌或死亡细胞，但这个过程中常损伤邻近细胞，导致炎症反应扩大，自身死亡后则成为微脓肿的主要细胞成分。

（2）树突细胞：牙髓树突细胞由 Jontell 等首先发现，与皮肤树突细胞有相同的表型特征，常具有 3

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

个以上的胞质树突状分支，长可达 50μm，不具有朗格汉斯细胞的表型特征。牙髓内树突细胞呈网状分布于冠髓和根髓，但并不是随机分布，而是特征性集中于两个部位，即成牙本质细胞层内和牙髓深层毛细血管周围。有些树突细胞的胞质突起延伸进入牙本质小管内并与成牙本质细胞突起接触。扫描电镜观察发现人成牙本质细胞层的树突细胞常与神经纤维接触，提示牙髓树突细胞和神经纤维之间存在一定的相互作用。电镜下还发现毛细血管周围的树突细胞的突起与血管内皮细胞接触，表明牙髓树突细胞与内皮细胞之间存在功能联系。

和其他部位的树突细胞一样，牙髓树突细胞在免疫反应的感应期起着重要作用，它能捕捉抗原并进行处理，将抗原递呈给 $CD4^+T$ 细胞，使 T 细胞增殖分化成熟而发挥细胞免疫作用。除此之外，牙髓树突细胞还具备清除牙髓中凋亡细胞的功能。

3. 淋巴细胞和浆细胞 以往认为无炎症的牙髓中无淋巴细胞，受损伤的牙髓中却能发现这些细胞，作为损伤后的免疫反应，它们破坏或中和外来物质。这些细胞的出现预示着存在持续性刺激。1987 年发现正常牙髓中存在 $CD4^+T$ 细胞和 $CD8^+T$ 细胞，$CD4^+/CD8^+$ 平均为 1∶1.6～1∶3.1；与外周血相反，外周血的比值约为 1.7 以上。牙髓中 T 淋巴细胞数量较少，主要分布在牙髓中央区血管周围。大多数学者报道正常牙髓中未发现 B 淋巴细胞。

4. 肥大细胞 正常人牙髓中偶尔可在某一颗牙的牙髓中发现肥大细胞，但它普遍存在于有炎症的牙髓中。肥大细胞内的颗粒富含组胺和肝素，组胺是一种强效的炎症介质，当有炎症时肥大细胞在抗体 IgE 的作用下以脱颗粒的方式把颗粒释放到周围组织液中，参与Ⅰ型超敏反应。因为肥大细胞一般位于血管附近，所以这些细胞脱颗粒时释放的组胺就接近于血管平滑肌，引起血管舒张、血管通透性增加，进而白细胞和组织液渗出。研究还发现肥大细胞表达 MHC 分子、协同刺激分子（B7-1 和 B7-2），可作为抗原递呈细胞，能加工、递呈抗原，启动免疫应答。此外，肥大细胞还表达 CD40 和 CD40L，促进 T、B 细胞和抗原递呈细胞（APC）的活化。肥大细胞还能分泌细胞因子 IL-1、IL-3、IL-4、IL-5、IL-6、IL-8、IL-10、IL-12、IL-13、GM-CSF、TNF-α 及趋化因子等，参与免疫调节，发挥免疫效应功能。

5. 成牙本质细胞 成牙本质细胞是一种高度分化的细胞，它的主要功能是形成牙本质。成牙本质细胞形态变化很大，位于冠髓部的呈高柱状，而位于根髓中部的呈矮柱状，根髓中的成牙本质细胞逐渐变矮，渐呈立方形，接近根尖部则为扁平状，与成纤维细胞非常相像。

成牙本质细胞由牙乳头周围的外胚间充质细胞逐渐分化而来，并成熟为具备合成和分泌糖蛋白特性的形态。糖蛋白构成前期牙本质基质，牙本质基质后来被成牙本质细胞钙化，牙本质是特别细胞形成的特别组织。合成和分泌活动使成牙本质细胞高度极化，蛋白质合成场所在细胞体，却从细胞突起分泌出来。成牙本质细胞体含各种细胞器，这些细胞器反映胶原、糖蛋白和钙盐的分泌的不同阶段。牙本质基质的分泌先于矿化，未矿化的牙本质称为前期牙本质。与骨的矿化相似，位于釉质牙本质界的前期牙本质矿化起源于基质小泡的形成。应用放射自显影技术的研究已经证明了基质合成和分泌的过程。在光学显微镜下的组织学观察发现，成牙本质细胞的形状是变化的，冠髓部分呈假复层高柱状，根髓部分呈单层立方状，接近根尖部分则呈扁平状，似鳞片。这种鳞片状成牙本质细胞常形成不规则的非管状牙本质。扫描电镜为进一步研究成牙本质细胞的超微结构提供了更好手段，扫描电镜下大的胞核位于成牙本质细胞的基底部，细胞呈梨形。法国的口腔科学者通过扫描电镜研究证实，髓角处成牙本质细胞紧密排列，从冠部到根尖成牙本质细胞形态呈现连续变化，由梨形转为纺锤形，再变为棒状，或是球状。牙冠部牙本质形成时，成牙本质细胞形成髓腔的边缘，并向牙髓中央移动，随着牙本质的形成髓腔逐渐变小。这就解释了为什么冠部成牙本质细胞拥挤排列成栅栏状，呈假复层外观。相反，牙根部髓腔相对并不狭小，成牙本质细胞保持柱状，或立方状，或鳞片状（根尖区），而且髓室细胞和牙本质小管的数目密度较根髓高，髓室较高密度的牙本质小管可能是冠部牙本质敏感性和渗透性强的原因。成牙本质细胞胞体制造基质材料，材料被转运至细胞突起，并从此分泌出来。经典的描述中，成牙本质细胞的突起从胞体伸向釉质牙本质界，约 2～3mm，这是许多采用不同方法和染色的光学显微镜下观测的结果。然而

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

如果用电镜观测，成牙本质细胞突起仅限于内层 1/3 牙本质中，外层 2/3 牙本质小管缺乏突起或神经，但充满了细胞外液。很多近年来的研究指出，成牙本质细胞的突起可能确实已延伸至釉质牙本质界，牙本质小管却并没有观察到成牙本质细胞的突起，只有通过透射电镜鉴定可能存在的突起外周的三层质膜才能明白是否真的存在突起。成牙本质细胞的突起延伸至何处仍有争议，因此，关于活体牙预备后的牙髓损伤，现在认为并非因为切断了成牙本质细胞的突起，而是因为脱水、热作用和渗透作用。而且，牙本质敏感症可能与直接刺激成牙本质细胞的突起或神经末梢无关，因为外层的牙本质小管内并没有这些结构。初期牙本质形成之后，成牙本质细胞仍可以通过其突起产生管周牙本质而改变牙本质结构，管周牙本质矿化程度高，有机基质少，它的形成使牙本质小管直径不断缩小。当受到刺激，成牙本质细胞能加速形成管周牙本质，以闭塞该处牙本质小管。如果闭塞的牙本质小管超过大片区域，则称为硬化牙本质（sclerotic dentin），硬化牙本质常见于颈部磨耗的牙齿。另外，受到刺激的成牙本质细胞也可以向小管内分泌胶原、非晶体物质，或大的晶体。牙本质小管闭塞的结果使牙本质对刺激物的通透性下降。尽管被描述为成牙本质细胞自我保护和牙髓的防御性反应，却尚未得到证实。

成牙本质细胞之间存在多种细胞连接体，包括缝隙连接、紧密连接和黏着连接。缝隙连接是一种通信连接，能够让离子和小分子在成牙本质细胞间选择性交换。缝隙连接是低阻通道，信号能迅速地在细胞间传递，在调节成牙本质细胞的生长分化等方面起重要作用。紧密连接是封闭连接，相邻成牙本质细胞膜紧密接触甚至融合，形成一条闭锁小带，为相邻细胞提供机械附着体，同时紧密连接在形成和转运细胞表面电荷方面十分重要。黏着连接也称带状黏着，在紧密连接的下方相邻成牙本质细胞不再融合，形成一个 15 ~ 20nm 宽的胞外间隙，其中充满糖蛋白类的黏合物质。黏着连接为细胞外基质提供了一种转运通道。

成牙本质细胞的生命周期分为四个时期：预极化期、极化期、分泌期和静止期（图 3-2）。

（1）预极化期：本期细胞呈多形性，它们可能就是间充质细胞，并被较大的细胞间隙所分割。内含原生质的细胞突起从细胞体延伸出来，连接邻近的细胞体或者细胞突起，彼此交织，伪足可以从细胞体向外延伸，但更多的是从细胞突起向外延伸。细胞体含有细胞核，内质网非常丰富，但游离核糖体、线粒体和高尔基器数量较少。细胞间质含有少量纤维。

（2）极化期：伴随细胞排列成一排，其形态和内部发生了许多变化，显示出极化状态。牙乳头顶部的细胞首先具备了定向性，细胞体紧密排列成一层，细胞间隙大幅度减小，细胞体由圆形变为立方形，继而成为高柱状，细胞高度的增加与细胞器数目的增多有关，而且细胞核位于远离突起而邻近未来牙髓的基底部。

在极化期的终末阶段，成牙本质细胞的末梢伸出一个主要的突起，这个突起具有和细胞近似的宽度。突起的远侧变细，仅有一些微管、微丝、大小不等的空泡、分泌囊泡和线粒体，而不含其他细胞器。主要突起的相关较小分支（丝状伪足）延伸长度不等，进入基质，而且可能和相邻的伪足交通，通常缺乏细胞器。成牙本质细胞突起及其丝状伪足都位于牙本质小管内，它们穿过部分釉质或釉质牙本质界、罩牙本质和髓周牙本质，到达前期牙本质。以前认为成牙本质细胞突贯穿牙本质小管全长，自胞体延伸至釉质；但最近的研究包括以往曾在冠根部牙本质小管末梢发现的突起，在光学和透射电镜下的观察显示突起仅位于近髓 1/3 厚度的牙本质内。

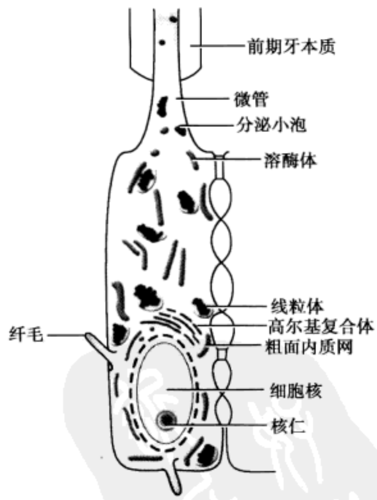


图 3-2　完全成熟的成牙本质细胞模式图

邻近成牙本质细胞突起的起始处细胞质含纤维丝组成的网状结构，这些纤维丝浓聚成束，与复合连接体（结合栏）相关。较大的椭圆形核位于网状结构的下方，核下区几乎没有细胞器，核上区的胞质则

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

存在许多细胞器，如高尔基复合体、粗面内质网、线粒体、膜结合囊泡等。

（3）分泌期：成牙本质细胞本期进一步变长，其内细胞器更加丰富，随后合成和分泌胶原前体。完全分化成熟的成牙本质细胞在其合成原纤维阶段胞质非常清晰的分为7个区域：①胞质突；②终末网；③末梢（顶端）内质网；④高尔基器；⑤核上内质网；⑥核；⑦核下区。终末网的下方是因其网槽结构而命名的末梢粗面内质网，线粒体和各种大小、密度的分泌囊泡散布其中。高尔基器占据成牙本质细胞的大部分中央区域，其间有少许粗面内质网，相邻的细胞以桥粒连接，高尔基器由3～5个平行排列的扁平囊组成，其形成面与粗面内质网相联系，而成熟面朝向细胞中心。含不同密度物质的各种类型的囊泡从粗面内质网以“芽生”的方式膨大脱落，并融入高尔基器的扁平囊，囊泡内的物质在扁平囊形成细丝，随后平行排列，然后浓缩成小颗粒，小颗粒释放入细胞质中，并在细胞质中进一步浓缩成分泌泡，分泌泡向成牙本质细胞表面迁移，最终分泌到细胞间质，形成胶原纤维。因此，可以肯定胞质中表面被覆短绒毛的游离囊泡参与分泌颗粒的浓缩。

核上区粗面内质网的方向和组成成分与边缘区的粗面内质网并无两样，胞核占据该区大部分位置，核呈椭圆状，其长轴与细胞长轴平行。除了偶有线粒体和粗面内质网以外，核膜与胞膜之间其他细胞器非常稀少。核下区很小，尽管存在各种细胞器，但数量却不多。

（4）静止期：继原发性牙本质构成解剖牙冠之后，成牙本质细胞发生了一些变化，进入“休止状态”，基质形成和钙化反应速度降低或暂停，成牙本质细胞缩短成矮柱状或立方形，胶原数量减少，层化形成的规律消失。这种形态结构变化一直保持到由于新的功能而要求形成继发性牙本质所需的基质合成活动开始。

三、牙髓细胞间质

牙髓细胞间质构成牙髓的支架，并维持牙髓的完整性，其主要成分是纤维和基质。

1. 纤维　牙髓的纤维成分与其他结缔组织相同，网状纤维存在于血管和成牙本质细胞周围，网状纤维形成的网状结构构成细胞间的支架，网状纤维后期可转变为胶原纤维。

胶原纤维是牙髓主要的组成成分，胶原纤维占人牙髓干重的32%。牙髓中的胶原主要有Ⅰ型和Ⅲ型胶原纤维，Ⅰ型胶原约占56.4%，Ⅲ型胶原约占41%（12%为水溶性，29%为非水溶性），还有少量的Ⅴ型胶原，占2%。无论光学显微镜还是电子显微镜都能观察胶原纤维的形态，在超微结构水平，典型的64nm带状结构或电子密度的周期性都是胶原纤维的特征。这些纤维形成疏松的网状结构，为牙髓其他成分提供支持。胶原由成牙本质细胞和成纤维细胞合成和分泌，然而成牙本质细胞分泌的胶原随后矿化，成纤维细胞分泌的胶原在正常情况下并不矿化，这是两者的不同点。它们还在交联程度和羟基赖氨酸含量的微小不同两方面相异，但基本结构相同。原胶原蛋白是不成熟的胶原纤维，纤细，硝酸盐染色呈黑色，光学显微镜下称为嗜银纤维或网状纤维。如果原胶原蛋白分子聚集成大的纤维，就不再需要银染即可观察到，一般称为胶原纤维。如果几根胶原纤维聚集（交联），而且变得稠密，称为胶原束。胶原一般随年龄增长而变粗（即更多胶原束），年龄似乎也与牙髓结缔组织的异位钙化相关，无论随机弥漫性钙化还是髓石。弹性蛋白是唯一的其他纤维性结缔组织蛋白，仅存在于牙髓小动脉壁。边缘牙髓中的胶原排列独一无二，这些胶原束称为Korff纤维，许多教科书将Korff纤维描述成螺旋形，位于成牙本质细胞之间，并延伸至牙本质基质中。成牙本质细胞、前期牙本质紧密排列，其间还存在毛细血管和神经，所以成牙本质细胞之间或其周围空间狭小。

2. 基质　这种类似凝胶的无结构团块构成牙髓的大部分体积，它占据着成形成分以外的空间，基质与其他间隙性纤维结缔组织相似，是由糖蛋白、酸性黏多糖和水组成的复合体。水的含量超过90%，黏多糖包括透明质酸、硫酸软骨素和其他糖蛋白。牙髓基质可以看做液态胶体系统，其弹性能保护细胞和血管成分。基质是支持结构，也是转运代谢物质的媒介。黏多糖可以通过组织化学的手段检测，蛋白水解酶、透明质酸酶、硫酸软骨素酶等可以干扰黏多糖与胶原交联而降解牙髓和牙本质的基质，因此，基质对于牙髓和牙本质的健康有着明显的意义。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

四、牙髓的代谢

牙髓的细胞相对松散，比其他组织的耗氧量低。在牙本质形成期间，牙髓代谢活动较强，代谢最活跃的区域是成牙本质细胞层，牙冠发育完成后代谢活动降低。牙髓的代谢除了正常的糖酵解途径，还可以通过磷酸戊糖旁路途径产生能量，说明牙髓能耐受一定程度的局部缺血缺氧。这也解释了使用含肾上腺素麻药局部浸润麻醉后，根尖孔牙髓血管尽管发生收缩但并没有造成牙髓坏死的原因。

丁香油、氧化锌、氢氧化钙等材料能抑制牙髓组织的氧消耗，故而能抑制牙髓细胞的代谢，正畸力对牙髓的代谢也有一定的影响，有研究表明正畸力作用于前磨牙 3 天后，牙髓的呼吸活动减少 27%。

五、牙髓的微循环

牙髓的血供　许多学者曾经阐述了牙髓的血供，牙髓血流分布不均匀，牙髓周边区域血流较中央区大 4 倍，冠髓血流量比根髓大 2 倍，髓角区血流量最大。因为牙髓本身体积非常有限，其血管也就不会粗，牙髓最大的动脉和静脉称为小动脉和小静脉，直径约 50～100μm。小动脉和小静脉的管壁由三层结构组成，即外膜、中膜和内皮细胞层。外膜由较薄的结缔组织构成；小动脉的中膜由散在的一层或几层环形平滑肌构成，小静脉的中膜则平滑肌细胞较少或缺如，内皮细胞呈扁平状，小静脉较小动脉粗。牙髓毛细血管缺乏外膜和中膜，仅由松散的网状纤维包绕的单层扁平的内皮细胞构成管壁，直径约 8～10μm。在根尖部分牙髓或边缘牙髓，小动脉由于不断分支而越来越细，称为终末动脉或微动脉。在动脉分成毛细血管床之前，还存在动静脉短路，这可以由血管壁上不规则的肌上皮细胞和立方形细胞得到证实，动静脉短路存在于冠髓和根髓，尤其是根髓，当牙髓内压力升高，动静脉短路开放能降低压力，维持正常血流量。经典的微循环床还包括以直角从动脉分出的毛细血管，但是人类牙髓未发现此结构，取而代之的是动脉分支成终末动脉，终末动脉再分支，形成动静脉吻合在牙髓外周血管中较多见，是动、静脉不经过毛细血管直接交流的通道，可使牙髓血液灌注快速发生变化，是在牙髓炎和损伤时调节血液循环的重要结构，可减轻炎症和损伤时的组织压力（图 3-3）。

成牙本质细胞下层毛细血管密度最高，为成牙本质细胞层和多细胞层内大量代谢活跃的细胞提供充分的营养，年轻牙髓中毛细血管则普遍延伸至成牙本质细胞层。该区域无论乳牙还是恒牙毛细血管开窗常常存在，毛细血管开窗仅覆以薄的质膜，这些窗口能提供从毛细血管至相邻成牙本质细胞之间液体和代谢产物的快速转运。牙髓中央区毛细血管开窗的发生率迅速减少，冠髓低至 4%。

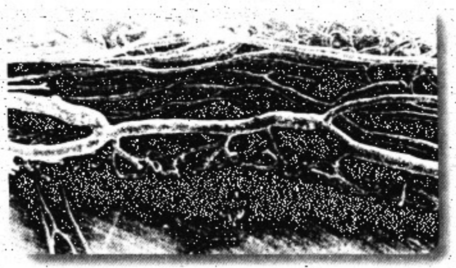


图 3-3　牙髓血管中的动静脉吻合（扫描电镜）

毛细血管回流到小静脉，再到大一些的静脉，最后经根尖离开牙髓。这些静脉与牙周膜和邻近牙槽骨的回流血管相连。牙髓血管与身体其他的血管比较，管壁更薄，毋庸置疑，这是为了适应其周围坚硬的髓壁。目前已对牙髓的组织压和血压进行了测定，组织压为 0.8kPa（6mmHg），小动脉压为 5.73kPa（43mmHg），小静脉压为 2.53kPa（19mmHg），毛细血管压为 4.67kPa（35mmHg）。牙髓组织压随牙髓状态而改变，早期炎症反应牙髓组织压升高到 13mmHg，牙髓炎症属可逆，若组织压升高至 35mmHg，则牙髓炎症将不可逆。组织压升高开始于局部，若继续发展，就会逐步扩散，最后波及整个牙髓。牙髓如果存在炎症，血管扩张，通透性增加，结果牙髓流体静力压增大；当组织压达到与血管内压相等时，薄壁的小静脉被压缩，血管阻力增大，血流减慢。Kim 和他的团队研究发现，许多血管扩张剂仅能使牙髓血流短暂增加，随后即因为小静脉闭锁而血流减少。同样，热刺激可引起血管扩张，有研究表明热刺激 15 秒后牙髓组织压升高 1 倍，如果组织压刺激达到神经疼痛阈值将引起疼痛。相反，冷刺激可收缩血管，冷刺激 8 秒后牙髓组织压接近于 0，因此，急性牙髓炎症

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

后期冷刺激可缓解疼痛。但是冷刺激也能引起牙本质小管内液的快速流动，刺激 A-δ 纤维，导致尖锐性疼痛。

以上所述的血管结构存在于每颗牙的牙根，交替血供有益于多根管牙齿，它使得髓室有丰富的血管吻合，尚无证据证明少数经由副根管出入牙髓的血管对相关的血液循环有重要意义。

牙髓是否存在淋巴管尚有争议，然而已经在牙髓超微结构和组织学水平发现淋巴管，因为管腔内没有红细胞，内皮边缘缺乏交错重叠，没有基底层。牙髓边缘区域有大量毛细淋巴管，它们相互汇集成收集管，收集管再逐渐汇成粗的淋巴管，粗的淋巴管最终与其他脉管穿出根尖孔。许多学者采用组织学和功能性方法阐述了牙髓、牙周膜与牙槽骨的淋巴管之间的广泛吻合。

六、牙髓的神经支配

牙髓是一个感觉敏锐的组织，受丰富的神经支配，能够迅速将信息传送至中枢神经系统。牙髓内仅有疼痛感受器，当它们受到各种外界刺激如机械、温度、化学刺激时，其冲动传到中枢都是痛觉，因此，牙髓的感觉功能仅限于痛觉。

牙髓神经主要由来自三叉神经的上颌支、下颌支的感觉神经和来自颈上交感神经节的节后神经组成，可分为有髓鞘神经纤维和无髓鞘神经纤维两种。有髓鞘（A 纤维）和无髓鞘（C 纤维）神经纤维伴随脉管系统进入根管，可能径直进入冠髓再发出分支，形成神经网，有的有髓鞘神经在根髓即发出分支。牙髓的主要神经属无髓鞘神经，大部分无髓鞘神经是交感神经，受到刺激减少牙髓血供。无髓鞘 C 纤维遍布整个牙髓，刺激阈值较高，与钝性、弥散性疼痛有关，C 纤维对缺氧环境有较强的耐受性，当牙髓组织缺氧坏死时，C 纤维还有活性。牙髓中有髓鞘感觉神经来自三叉神经，主要的有髓鞘神经是细的 A-δ 纤维，有髓鞘神经纤维在近多细胞层处发出广泛分支形成神经网，称为 Raschkow 丛。从此，许多神经纤维脱髓鞘，穿过无细胞层，最终成为与成牙本质细胞邻接的感受器或游离神经末梢；其余的经成牙本质细胞之间穿过，进入牙本质小管，与成牙本质细胞突起紧邻。有的神经末梢距釉质牙本质界很近，有的仅出现在内层牙本质和前期牙本质小管中，有的位于成牙本质细胞间。Byers 发现神经进入牙本质小管约 100μm，而与物种和牙本质厚度无关，也许神经纤维延伸超过 100μm 就难于保证营养供给。一些感觉神经轴突支配 100 个牙本质小管。不管刺激牙本质还是牙髓，A-δ 神经纤维对刺激反应为尖锐疼痛。有学者认为位于成牙本质细胞层的一些神经末梢可能不是感觉神经纤维，而是交感神经纤维，其作用不是感受外来刺激，而是刺激成牙本质细胞对外来刺激作出的反应。

交感神经调节动静脉分流和小动脉血流，从而影响牙髓局部血流和组织压力。交感神经纤维不仅减少牙髓血流，还降低牙内神经的兴奋性，因此，牙髓神经与其兴奋性和局部血流关系密切，牙内神经的数量和密度随牙齿发育阶段不同而有所不同，与牙位也相关。Fearnhead 和其他学者曾经报道，在牙齿萌出之前人牙几乎无神经，萌出之后髓角出现大量神经（约 40% 小管受神经支配），冠部牙本质其他部位则降到约 4.8%，而颈部低于 1%，根部牙本质仅偶见神经，这在光学显微镜下能得到证实。除冠髓外，牙髓神经少有分支，所以冠髓较根髓敏感，冠部牙本质对刺激表现得更痛，同样的刺激在冠部牙本质即是锐痛，而在根部牙本质则是钝痛。

总之，神经纤维可根据其直径、兴奋传导速度和功能进行分类（表 3-1）。

表 3-1 神经纤维的分类

神经纤维种类	功 能	直径（μm）	兴奋传导速度（m/s）
A-α	运动，本体感受	12～20	70～120
A-β	压力，触觉	5～12	30～70
A-γ	运动	3～6	15～30
A-δ	痛觉，温度，触觉	1～5	6～30

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

续表

神经纤维种类	功　能	直径（μm）	兴奋传导速度（m/s）
B	自主神经的节前神经	< 3	3 ~ 15
C 后根	痛觉	0.4 ~ 1.0	0.5 ~ 2.0
交感神经	交感神经的节后神经	0.3 ~ 1.3	0.7 ~ 2.3

牙髓神经纤维含多种神经多肽，例如 P 物质、降钙素基因相关肽（CGRP）、神经激肽 A（NKA）、血管活性肠多肽（VIP）、神经肽 Y（NPY）等。P 物质是牙髓中最早发现的神经肽，P 物质与 CGRP 和 NKA 的分布十分相似，三种神经肽可能存在于同一神经纤维中，含有这三种神经肽的神经纤维起源于三叉神经，属感觉神经纤维，含 NPY 的神经为交感神经，来源于颈上交感神经节，含 VIP 的神经纤维则来源于副交感神经节。许多因素可以激活神经多肽的释放，如组织损伤、补体激活、抗原抗体反应或下牙槽神经的逆行刺激。P 物质、CGRP 和 VIP 具有舒张血管的作用，而 NPY 具有收缩血管的作用，它们共同参与牙髓微循环的调节。

七、牙髓的修复

牙髓具有一定的自身修复能力，牙髓修复的潜能首先表现在成牙本质细胞对外界的反应能力。成牙本质细胞在形成原发性牙本质后仍持续性以非常缓慢的速度分泌形成继发性牙本质，超微结构上成牙本质细胞表现出退行性变，但成牙本质细胞保持着对外界刺激的反应能力，在受到一定程度的刺激后其分泌功能会再度活跃。牙髓修复的潜能还表现在牙髓内含有具有分化潜能的牙髓前体细胞，即牙髓干细胞。牙髓干细胞受到一定的信号分子刺激后发生分化，并逐步向受损部位移行，取代受损死亡的成牙本质细胞而分泌合成新的牙本质基质，新分化的细胞与原代成牙本质细胞相似，由于其表性特征尚不清楚，所以只能称为成牙本质细胞样细胞。目前认为成牙本质细胞样细胞的来源可能有两种：①未分化的牙髓干细胞，在成牙本质细胞终末分化阶段，分裂中的前成牙本质细胞停滞于 G_2 期，未完成分化过程。当这些细胞受到特殊分子信号的刺激后，不进行 DNA 复制直接分化为功能性成牙本质细胞样细胞。②牙髓成纤维细胞进行 DNA 复制而分化为功能性成牙本质细胞样细胞。

牙本质和牙髓受到龋损、机械性、化学性或物理性损伤后，牙髓内最初的血管反应导致严密封闭的髓腔内的流体静力组织压不同程度升高，甚至导致小静脉的压迫。尽管炎症早期牙髓内压力升高只是局部的，髓腔内还存在流体静力压负反馈调节机制；但初期损伤若加速发展常导致全部组织的坏死，因此，牙髓修复取决于损伤的严重程度、神经血管的反应和牙髓的结构与功能状态这三个因素。如果外界刺激相对温和，受累的成牙本质细胞增加基质合成分泌，并钙化形成牙本质，称为反应性牙本质；如果外界刺激较强，将导致受累成牙本质细胞死亡，在牙髓牙本质复合体条件适合的情况下，分化出新的一代成牙本质细胞样细胞，并分泌基质形成牙本质，称为修复性牙本质。反应性牙本质和修复性牙本质统称为第三期牙本质（图 3-4），它们分别来源于两种不同的细胞群。形成反应性牙本质生物学过程的关键是受损的成牙本质细胞合成分泌功能上调，受牙本质基质和生长因子的调节。当外界刺激（如酸等）将牙本质基质的活性成分溶解，基质成分可通过牙本质小管到达受损部位的成牙本质细胞层，成牙本质细胞受到刺激后细胞内合成牙本质基质的速度加快，并将新合成的牙本质基质分泌到胞外，矿化后形成反应性牙本质。转化生长因子 β（TGF-β）是成牙本质细胞自分泌和旁分泌重要介质，在反应性牙本质形成中发挥重要作用。在体外培养的牙髓器官模型中发现 TGF-β1 和 TGF-β3 具有上调成牙本质细胞功能的活性，而 TGF-β2 没有，TGF-β 家族中 BMP-7 也具有此上调活性。TGF-β 和牙本质基质同样也参与修复性牙本质形成的生物学过程，TGF-β1 和细胞外基质一起能共同诱导体外培养的牙乳头细胞分化为成牙本质细胞样细胞。动物实验表明 TGF-β1 可以诱导高柱状极化细胞即成牙本质细胞样细胞的出现，并形成一厚层呈管状基质样的修复性牙本质。用含 TGF-β 成分的生物材料如 TGF-β1、BMP-4 等进行盖

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

髓实验，同样发现形成了修复性牙本质。牙本质基质在修复性牙本质形成中的作用研究最多的是纤连蛋白和牙本质非胶原蛋白，研究发现单独的纤连蛋白不具诱导细胞分化的能力，富含纤连蛋白的基质表面可能起到类似基底膜的作用，有利于分化细胞的吸附，纤连蛋白还可能在细胞的移行和细胞极化过程中发挥重要作用。第三期牙本质的结构变化较大，可表现为规则的基质，与原发性和继发性牙本质难于区别，也可以表现为无定形、无管状基质，甚至有一些细胞和软组织卷入基质内，组织切片上呈所谓的瑞士奶酪结构，目前组织学上很难区分反应性牙本质和修复性牙本质（图 3-5）。

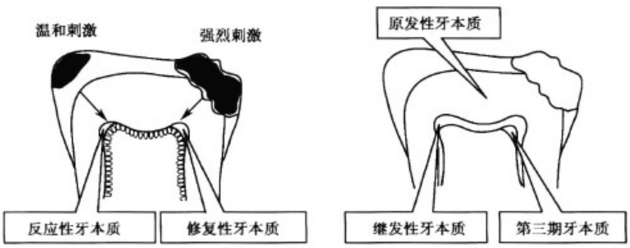


图 3-4　第三期牙本质模式图

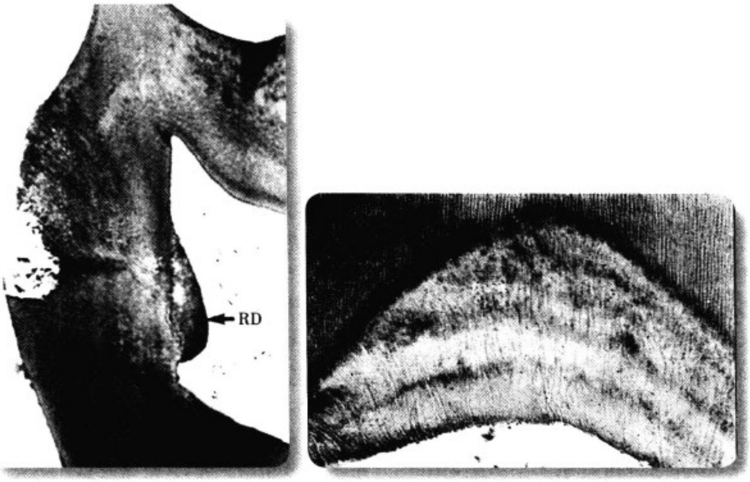


图 3-5　第三期牙本质

当牙髓条件不适合时，立方状或梭形的牙髓细胞在修复过程中形成纤维性牙本质，因纤维性牙本质具有骨的性质，故又称为骨性牙本质。形成纤维性牙本质的细胞超微结构与未分化的牙髓细胞几乎无区别，细胞器较少，含有大量的脂质滴，纤维性牙本质高度矿化，呈强 GAG 反应，散在分布一些胶原纤维。

第二节　牙本质的结构与功能

矿化的牙本质构成牙主体结构，并形成其特殊形态，牙本质硬而有弹性，围成髓腔的周壁。牙本质冠部覆盖釉质，而根部牙本质表面则由牙骨质覆盖。牙本质呈淡黄色，不透明，老年人牙本质颜色加

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

深，可呈棕黄色。牙本质硬度较釉质软，较骨和牙骨质硬，釉质是人体最硬的组织，其硬度为 340KHN；而牙本质硬度在不同部位也不尽相同，平均约为 70KHN，硬化牙本质的硬度可达 80KHN，而龋病脱矿后形成的死区牙本质硬度约 25KHN。由于牙本质含有较高的有机基质，并且具有管状结构，所以牙本质的压缩性、弹性和延伸性较釉质大，因而牙本质给硬而易碎的釉质提供了一个良好的缓冲环境。

一、牙本质的结构

（一）牙本质化学组成

完全成熟的牙本质无机矿物质含量比骨略高，占重量的 70%，主要是羟基磷灰石晶体的形式，但钙少碳多。晶体较釉质中小得多，长约 60～70nm，宽约 20～30nm，厚约 3～4nm，与牙骨质和骨中的晶体相似，管周牙本质内羟基磷灰石晶体长 3.6nm，宽 2.6nm，厚 0.9～1.0nm，但管周牙本质矿化程度较管间牙本质高。牙本质的钙磷重量比为 1∶2.13，另外还含有多种微量元素，如镁、锌、氟等。有机质占 20%，主要是胶原蛋白，剩余 10% 为水。在体积比方面，无机物占 45%，有机物占 33%，水占 22%。牙本质成分并不是均匀地分布于组织中，牙本质结构变化很大，因此，不同部位的牙本质其组成也不尽相同。

（二）牙本质类型

牙本质是一个复合结构，由几种形态不同的钙化组织组成。生理情况下，根据牙本质形成时期不同，可分为原发性牙本质（primary dentin）和继发性牙本质（secondary dentin）。原发性牙本质是牙本质的主要部分，在牙齿发生期间以较快速率产生。继发性牙本质是牙根形成后在原发性牙本质的近牙髓侧形成，其形成速度较慢，但在牙齿的生命过程中持续形成，使髓周牙本质不断增加，髓腔则不断减小，其本质是牙本质增龄性改变。原发性与继发性牙本质的相对位置（图 3-6）。与原发性牙本质相比，继发性牙本质的结构特点是形成明显的牙本质小管曲线。髓腔壁特别是髓室壁继发性牙本质分布并不均匀，受刺激大的部位继发性牙本质形成较多，髓腔因此变得不规则。前磨牙和磨牙髓室顶与髓室底的继发性牙本质比侧壁厚。继发性牙本质也在许多牙本质小管管腔面形成，甚至导致牙本质小管完全矿化闭塞，在磨片上由于小管和周围间质的折光率无明显区别而呈透明状，故称之为透明牙本质（transparent dentin）。

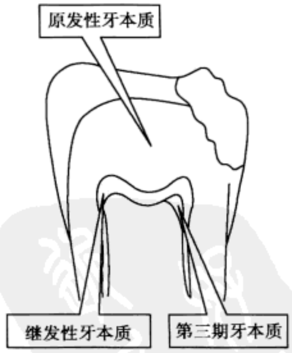


图 3-6　原发性与继发性牙本质的相对位置

在牙本质形成的初始期，最早在成釉器下方牙乳头周围沉积的第一层原发性牙本质，称为罩牙本质（mantle dentin），厚约 10～30μm；根部者称透明层，厚约 5～10μm。罩牙本质的形成是牙本质发生初期相，此时基底膜增厚，成牙本质细胞尚未完全分化成熟，所以罩牙本质是未成熟成牙本质细胞的产物。罩牙本质内的粗胶原纤维排列疏松，在冠部这些纤维走向与牙本质小管平行，而与釉质牙本质界垂直，并呈特征性偏光表现；在根部这些纤维走向与牙本质小管垂直，而平行于牙髓牙本质界。罩牙本质的有机基质除了上述粗胶原纤维外，还有丰富的无定形基质，即糖胺多糖，这种无定形基质表现为嗜银特征，呈螺旋状排列，以前称为科尔夫（Korff）纤维，认为其是一种特殊的胶原纤维束。经过研究，现在认为 Korff 纤维只是在早期牙本质形成过程中出现，可能是富含糖类的无定形基质紧附于胶原纤维表面而致。罩牙本质钙化程度较低，约 5%，通过基质泡呈线状钙化而并非球状钙化，类似于骨钙化形式。

在罩牙本质形成后沉积的牙本质为髓周牙本质（circum-pulpal dentin），位于罩牙本质与前期牙本质之间，是发育性牙本质的主要部分。髓周牙本质与罩牙本质有以下三方面区别：①髓周牙本质的有机基质由成熟的成牙本质细胞合成分泌，而罩牙本质的有机基质则是由尚未完全成熟的成牙本质细胞合成分泌，其中某些成分还来自于分泌性成釉细胞；②髓周牙本质内胶原纤维束比罩牙本质内者小，无精确的

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

方向性，而是交织成网状围绕牙本质小管，罩牙本质内胶原纤维束排列具有明显的方向性；③两者钙化程度和钙化机制不同，髓周牙本质呈特征性球状钙化，钙化程度高，而罩牙本质则是线状钙化，钙化程度较低。髓周牙本质可以分为小管间牙本质（intertubular dentin）和小管周牙本质（peritubular dentin）。小管间牙本质是成牙本质细胞在牙齿形成期的主要分泌产物，占髓周牙本质的绝大部分，位于牙本质小管之间。小管间牙本质内有细小的胶原纤维，主要是Ⅰ型胶原，胶原纤维的直径为100～120nm；纤维大部分走向与牙本质小管垂直，与牙面平行，互相交织成网，其中分布牙本质非胶原基质，羟基磷灰石晶体呈薄片形，2～3nm厚，60nm长，沉积在胶原纤维间和胶原纤维表面，钙化程度较小管周牙本质低。牙磨片上可观察到小管间牙本质与小管周牙本质之间有一清楚的交界面，过去认为这是一种特殊结构，称为诺伊曼鞘（Neumann sheath），但电镜研究未能证实此鞘的存在，此鞘对染色和酸、碱处理的反应与两侧的牙本质不同，其本质还有待继续研究。小管周牙本质在牙本质小管周围形成，构成牙本质小管的壁，厚0.5～1μm，羟基磷灰石晶体体积很小，密度高，钙化程度高于小管间牙本质15%，其内胶原纤维极少，富含黏多糖。在观察脱矿切片时，由于脱矿处理使该处结构消失，故在成牙本质细胞突起周围呈现一环形空隙，在牙横磨片中小管周牙本质在光镜下呈白色光环。小管周牙本质在生活状态下可连续而缓慢地外加性生长，小管也可以矿化形成透明牙本质（transparent dentin）。研究还证实小管周牙本质可能被吸收，成牙本质细胞在吸收和改建过程中可能具有类似破骨细胞的功能，这些表明牙本质的钙化与全身因素尤其是钙调节激素有关。

除了罩牙本质是线状钙化以外，牙本质的钙化主要是球状钙化，在已矿化的牙本质与前期牙本质之间的界面存在着矿化的球状突起，即钙球（calcospherites）。散在的钙球增大，形成球状牙本质（globular dentin），钙球不断增大并彼此融合形成髓周牙本质的小管间牙本质。因为某些因素的影响，牙本质钙化不良时，钙球之间存在不规则的未钙化区，称为球间牙本质（interglobular dentin），主要分布于牙冠部近釉质牙本质界处和髓周牙本质的外侧，大小形态不规则，边缘呈凹形，很像许多相接球体之间的空隙。球间牙本质中仍有牙本质小管通过，但缺乏高度钙化的小管周牙本质结构。牙纵磨片上，在根部牙本质透明层内侧有一层暗色颗粒状未矿化区称为托姆斯颗粒层（Tomes granular layer）；有学者认为是矿化不全所致，相当于球间牙本质，但多数学者坚持此区牙本质小管末端分支多而成袢状，磨片上充满空气所致的观点。

前期牙本质（predentin）位于牙本质与成牙本质细胞之间，是未矿化的牙本质的有机基质。由于牙本质在牙一生中不间断地形成，故在矿化的牙本质内侧始终存在前期牙本质，前期牙本质与矿化牙本质之间界限清楚，呈不规则形，在邻近矿化前沿处可见钙化小球。前期牙本质的成分主要是Ⅰ型胶原及其三聚体，还有蛋白多糖（包括硫酸软骨素B、硫酸肝素、透明质酸酯、硫酸角质素、4-硫酸软骨素、6-硫酸软骨素）、糖胺聚糖（glycosaminoglycans，GAGs）以及非胶原蛋白质如牙本质磷蛋白等。前期牙本质的宽度根据不同部位变化较大，这取决于牙本质的沉积速度，一般为10～12μm，也有厚达40μm的。发育完成牙的牙本质（即继发性牙本质）形成速度较发育中牙的牙本质（即原发性牙本质）形成速度慢，因此，前者的前期牙本质较后者薄。前期牙本质在苏木精－伊红（HE）染色后呈粉红色，这种染色特点反映其基质成分有别于矿化牙本质。前期牙本质中的成牙本质细胞突起主要功能是分泌基质，而矿化牙本质中的成牙本质细胞突起参与了基质的重塑及矿化。

（三）牙本质小管

牙本质小管围绕成牙本质细胞突形成，从牙髓开始呈放射状穿过整个牙本质，有些还越过釉质牙本质界进入釉质形成釉梭。牙本质小管的直径在牙髓一侧较大，约3～4μm，越向表面则逐渐减小，在釉质一侧约为1μm，且排列稀疏。这种直径逐渐变细的现象是由于小管周牙本质逐渐形成，使得朝釉质方向的小管直径逐渐变小。牙本质小管占完整牙本质体积的20%～30%。

在冠部牙本质，小管呈S形弯曲，近牙髓端的凸弯朝向根尖。这可能是由于成牙本质细胞向牙髓中央移行时出现拥挤而形成的，使得小管在接近牙髓时呈收敛状态，因为牙髓腔的表面积比釉质牙本质界处牙本质的表面积小得多。人类牙齿的牙本质小管在距牙髓不同距离时的数目和直径也不同（表3-2）。在

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

牙本质外层，小管平均数目为 19 000/mm²，在牙本质中部为 30 000/mm²，在近牙髓处则达 55 000/mm²，牙本质在近髓侧和近釉质侧单位面积内小管数目之比约为 4∶1。

表 3-2　牙本质中小管的数目和直径

与牙髓距离（mm）	小管数目（×1000/mm²）		小管直径（μm）	
	均数	范围	均数	范围
髓壁	45	30～52	2.5	2.0～3.2
0.1～0.5	43	22～59	1.9	1.0～2.3
0.6～1.0	38	16～47	1.6	1.0～1.6
1.1～1.5	35	21～47	1.2	0.9～1.5
1.6～2.0	30	12～47	1.1	0.8～1.6
2.1～2.5	23	11～36	0.9	0.6～1.3
2.6～3.0	20	7～40	0.8	0.5～1.4
3.1～3.5	19	10～25	0.8	0.5～1.2

牙本质小管除 S 形大弯外，每个小管还有很多次级小弯。某些区域如根部牙本质和牙尖处牙本质，小管较直，仅有次级小弯而无 S 形大弯。牙本质小管沿途发出侧支小管，彼此相互吻合，侧支小管内含有成牙本质细胞突的分支。牙本质小管在釉质牙本质界处分支最多，发出一个或几个终末支，可能反映成牙本质细胞刚形成时的多突起特点。

牙本质小管中含有成牙本质细胞突起、牙本质液，某些部位含神经末梢。成牙本质细胞突在牙本质中不同区域有不同的结构，前期牙本质中的成牙本质细胞突内可见细胞器，如线粒体，偶见内质网，矿化的牙本质的成牙本质细胞突内几乎无细胞器。成牙本质细胞突起与牙本质小管之间有一小的空隙，称为成牙本质细胞突周间隙（periodontoblastic space），间隙内含组织液和少量有机物，是牙本质物质交换的主要场所。有研究指出牙本质液不同于其他组织液，钾含量较高而钠含量较低，这些离子的平衡可影响小管内的神经末梢和成牙本质细胞突膜的性质。牙折后，液体自牙本质小管溢出，在牙本质表面形成小滴。这一现象提示牙本质小管内压力为正，可能源自牙髓的组织压，这种向外的正压力有利于阻止化学物质和毒素进入牙本质并由此进入牙髓。牙本质小管的内壁衬有一层薄的有机膜，称为限制板（lamina limitans），它含有较高的糖胺聚糖，可调节和阻止牙本质小管矿化。

关于牙本质内神经分布，目前认识尚不一致。电镜研究发现前期牙本质和靠近牙髓的矿化牙本质中成牙本质细胞突起周围间隙里有神经纤维，无髓鞘神经纤维偶尔出现在年轻牙的釉质牙本质界处。神经纤维常常部分环绕成牙本质细胞突起，但未见神经末梢与成牙本质细胞间形成突触连接，仅观察到神经末梢与成牙本质细胞突起之间可产生切迹。当产生切迹时两者之间的面积增大，存在（200～250）$\times 10^{-10}$m 的间隙，与突触连接类似，但不具备突触连接的其他特征，这种结构是否有突触连接的基本功能还不清楚。伴随成牙本质细胞突起的神经末梢电镜下呈泡状，含少数线粒体。国内学者研究表明，不仅前期牙本质、矿化牙本质小管和间质有神经纤维分布，其神经末梢甚至可穿越釉质牙本质界，对此观点目前分歧很大。牙本质的神经分布不同部位密度不同，许多研究已经表明，感觉神经的 40% 分布于冠部髓角处的牙本质小管内，釉牙骨质界和牙根中部的小管内感觉神经纤维分别只占 0.2%～1.0% 和 0.02%～0.2%。交感神经的分布情况与感觉神经相似。

（四）牙本质的反应性变化

牙齿会受到外界的各种刺激，如化学刺激、龋病损害、牙体修复的窝洞制备等，针对这些刺激牙齿可以形成反应性牙本质（reactionary dentin）和修复性牙本质（reparative dentin）。反应性牙本质是在温

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

和的外界刺激下，生存下来的原代成牙本质细胞分泌的牙本质基质矿化后形成的。如果外界刺激较强，将导致受累成牙本质细胞死亡，在牙髓牙本质复合体条件适合的情况下，分化出新的一代成牙本质细胞样细胞，并分泌基质形成牙本质，称为修复性牙本质（图 3-7）。反应性牙本质和修复性牙本质统称为第三期牙本质（tertiary dentin），它们分别来源于两种不同的细胞群。

第三期牙本质直接在受刺激影响的牙本质小管下形成，其形状和结构特征变化较大，其内牙本质小管数目明显少于正常牙本质，而且明显弯曲，有些区域仅含少数小管或不含小管。某些情况下，在接近钙损伤线（calciotraumatic line）处形成真正的小管状的正牙本质（orthodentin）。通常在牙髓壁形成无小管状的牙本质结构，即骨样牙本质（osteodentin），这是因为牙本质形成很快，成牙本质细胞常被包埋其中，以后这些细胞变性，仅遗留一空隙，很像骨组织，故而得名。第三期牙本质与原发性牙本质或继发性牙本质之间常有一条着色较深的线分隔。

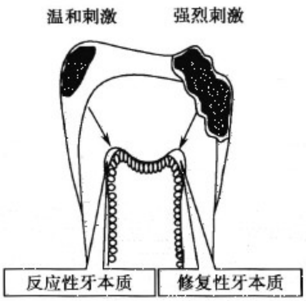


图 3-7 修复性牙本质和反应性牙本质

当牙本质受到磨耗或发展缓慢的龋刺激后，也可以导致牙本质小管内矿化物沉积，并封闭小管以阻止外界刺激传入牙髓，与透明牙本质的表现基本相同，称为硬化性牙本质（selerotic dentin）。硬化性牙本质是病理刺激引起；与此不同，透明牙本质（transparent dentin）是小管周牙本质连续不断地缓慢外加性生长，小管发生矿化形成的，属生理性改变。硬化性牙本质小管中的沉积物尚不明确，可能是由成牙本质细胞产生的磷灰石晶体，其中有些可能来自唾液。硬化性牙本质常见于颈部磨耗的牙齿。国内外通常并没有严格区分透明牙本质和硬化性牙本质。

牙齿因受到较重的刺激后，牙本质小管内的成牙本质细胞突逐渐变性、分解，小管内充满空气，在透射光显微镜下观察这部分牙本质呈黑色，称为死区（dead tract）。死区的敏感性降低，常见于狭窄的髓角，这是由于该处成牙本质细胞拥挤。死区的周缘常有硬化性牙本质包绕，其近髓端则可见修复性牙本质。

二、牙本质有机基质

牙本质有机基质中 90% 是胶原，其余还包括非胶原蛋白、蛋白多糖，以及一些含脂质成分。牙本质胶原首先被合成、分泌，构成一个胞外基质支架，随后才发生矿化形成牙本质。最近 10 年，对牙本质非胶原蛋白在牙本质形成中的诱导和调节作用进行了大量研究。

（一）胶原

牙本质中的胶原主要是 I 型胶原，其中 10%～15% 是 I 型胶原三聚体。I 型胶原占胶原成分的 97%。与其他结缔组织不同，成熟牙本质中缺乏 Ⅲ 型胶原，但前期牙本质中可见 Ⅲ 型胶原。牙本质中还含有 V 型和 Ⅵ 型胶原，但含量很少，V 型胶原少于 3%。和其他软组织中的胶原相比，牙本质中的胶原不易溶于酸性和中性溶液。人乳牙和恒牙牙本质中胶原的羟赖氨酸与赖氨酸含量比约为 9：26。

胶原由成牙本质细胞合成，分泌后进入前期牙本质，排列成纤维。胶原纤维网在接近成牙本质细胞体外并不致密，但到达前期牙本质和钙化牙本质交界处时则完全致密。成牙本质细胞在粗面内质网的核糖体合成前胶原（precollagen），合成的 α 链通过水解和糖基化反应完成翻译后的修饰。三个前胶原链共同形成一个前胶原分子，包装入膜结合的分泌小泡内，以细胞外放形式（exocytose）进入前期牙本质内。通过特殊的前胶原肽酶（precollagen peptidases）作用，前胶原分子转变成胶原。在胞外，胶原分子以错开的方式自发聚集形成胶原原纤维。胶原分子随后发生共价交联（covalent cross links），形成的原纤维得以稳定。最基本的交联键是二羟赖氨酰正亮氨酸（dihydroxylysinonorleucine，DHLNL）。胶原原纤维直径 20～50nm，具有 64nm 的周期性横纹，胶原原纤维借糖蛋白较松散的黏合成为胶原纤维。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

（二）非胶原蛋白质

牙本质非胶原蛋白含量较少，但种类繁多。根据蛋白的来源不同，将牙本质非胶原蛋白分为牙本质特异性蛋白、矿化组织特异性蛋白、非特异性蛋白、血清来源蛋白（也称为牙本质亲和性蛋白）四大类（表 3-3）。牙本质特异性蛋白是指唯一由成牙本质细胞合成和分泌，只在牙本质中存在和发现的蛋白。矿化组织特异性蛋白是指既在牙本质中又在牙骨质和骨中存在和发现，由这三种矿化组织中的细胞合成、分泌的蛋白。非特异性蛋白是指既在牙本质中存在，又在其他组织包括软组织中存在，既由成牙本质细胞又由其他类型细胞合成、分泌的蛋白。血清来源蛋白是指由身体其他细胞（主要是肝细胞）合成并分泌进入血清的蛋白，这些蛋白虽不由成牙本质细胞合成，但对牙本质有高度亲和力，可由血液循环进入牙本质中，又称为牙本质亲和性蛋白。

表 3-3　牙本质非胶原蛋白的种类

牙本质特异性蛋白	矿化组织特异性蛋白	非特异性蛋白	血清来源蛋白
牙本质磷蛋白	骨钙蛋白	骨桥蛋白	α_2HS- 糖蛋白
牙本质基质蛋白	骨涎蛋白	骨连接蛋白	IgG，白蛋白
牙本质涎蛋白			

1. 牙本质磷蛋白（dentin phosphoprotein，DPP）　牙本质中非胶原蛋白（noncollagenous proteins，NCPs）的主要成分是牙本质磷蛋白，从牙本质中已分离出数种磷酸化程度完全不同的蛋白。通常文献中的牙本质磷蛋白是指高磷酸化的磷蛋白（phosphophoryn），高磷蛋白占非胶原蛋白的 50% 以上，骨基质中尚未发现高磷蛋白，这是牙本质与骨之间化学组成上的一个显著差异。低、中度磷酸化磷蛋白在牙本质中的存在取决于种属，已经从骨中分离和证实了一些低、中度磷酸化磷蛋白。高磷蛋白在合成以后被直接转运于矿化前沿，前期牙本质中缺乏这种蛋白质。

高磷蛋白是目前已知酸性最强的蛋白质，pH 为 1.1。这是由于蛋白质中含有非常高的磷酸基以及独特的氨基酸组成。丝氨酸，包括磷酸丝氨酸占氨基酸残基的 50%，天冬氨酸占 40%，因此，蛋白质中 80% 以上的氨基酸残基携带负电荷的磷酸基团或羟基，故具有高度钙离子结合能力。由于高磷蛋白独特的氨基酸组成，其分子量很难测定。大鼠牙的高磷蛋白有两种，分子量在 90～95kDa，牛牙和小鼠只有一种，分子量分别为 155kDa 和 72kDa。

关于牙本质磷蛋白在牙本质发生中的功能目前尚未完全阐明。牙本质脱矿后，绝大部分高磷蛋白被溶解，但仍有一小部分与牙本质胶原紧密相结合。因此，提出高磷蛋白在矿化前沿处与胶原形成共价结合，在矿化形成中起着特殊的作用。高磷蛋白以很强的亲和力与钙离子结合，在体外试验中可影响无定形的钙磷酸盐向羟基磷灰石转化，并在高浓度时抑制晶体的生长。目前可以肯定牙本质磷蛋白参与、诱导牙本质的生物矿化过程。

2. 牙本质基质蛋白 1（dentin matrix protein 1，DMP1）　牙本质基质蛋白 1 于 1993 年由 George 等人通过分子克隆技术首先发现，这是一种独特的、高度磷酸化的酸性蛋白质，当时称为 AG1，后改称为牙本质基质蛋白 1。牙本质基质蛋白 1 的分子量约为 53kDa，富含丝氨酸、谷氨酸，天冬氨酸较 DPP 少。小鼠牙本质基质蛋白的基因位于 5 号染色体上（5q21）。

牙本质基质蛋白只在出生 2 天的鼠前牙的成牙本质细胞中表达，牙髓细胞中缺乏，在牙本质中含量极微。牙本质基质蛋白虽然在牙本质中含量较少，但人工重组的这种蛋白质很适合研究牙本质特异性蛋白在矿化中的作用。

3. 牙本质涎蛋白（dentin sialoprotein，DSP）　牙本质涎蛋白于 1981 年由 Butler 等首先发现。这是一种磷酸化的含大量涎酸的糖蛋白，碳水化合物含量较高，达 30%，还含有 10% 的唾液酸。因为与先发现的骨涎蛋白十分相似，故称为牙本质涎蛋白。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

牙本质涎蛋白含量占非胶原蛋白的 5% ~ 8%。分子量为 95kDa，富含谷氨酸、天冬氨酸、丝氨酸和甘氨酸，共由 350 个氨基酸组成。免疫组化显示，牙本质涎蛋白分布在成牙本质细胞、牙髓细胞、前期牙本质和牙本质中，说明这种蛋白是由年轻的成牙本质细胞在开始分泌前期牙本质时表达的，并通过成牙本质细胞突分泌至矿化前沿。牙本质涎蛋白的功能尚不清楚，可能参与牙本质矿化的启动或作为调节因子在牙本质发生中起作用。近年来的研究表明，牙本质磷蛋白和牙本质涎蛋白是来源于同一个基因的产物，是同一蛋白质即牙本质涎磷蛋白的不同部分。中国学者首先证明牙本质发育不全即遗传性乳光牙本质的产生与此蛋白基因突变有关。

由于上述三种蛋白质仅由成牙本质细胞分泌，可以认为是成牙本质细胞极有价值的标志，尤其是在研究成牙本质细胞分化时。

4. 含谷氨酸蛋白质（Gla-containing proteins）　含谷氨酸蛋白质是谷氨酸残基经维生素 K 依赖的转译后修饰反应形成的。在牙本质中存在两种类型：骨钙蛋白（osteocalcin）和基质谷氨酸蛋白（matrix Gla protein），骨钙蛋白又称为骨谷氨酸蛋白（bone Gla proteins），是大鼠牙本质的主要成分，易从脱矿牙本质中抽提。在发育中的人类牙齿中缺乏。骨钙蛋白分子较小，只含不到 50 个氨基酸残基，分子量 < 6kDa，含 3 个 γ－羧基谷氨酸残基，1 个二硫键，此外，还含 1 个羟脯氨酸残基。不同种属之间具有高度的序列同源性，特别是围绕谷氨酸残基区域和二硫键区域高度保守。

牙本质含谷氨酸蛋白由成牙本质细胞在矿化形成之前合成，在牙本质发生期并不存在于前期牙本质中，而是位于成牙本质细胞突的胞外小泡结构中，说明该蛋白直接运输到牙本质矿化前沿。

含谷氨酸蛋白的生理功能目前尚不清楚。1，25- 二羟基维生素 D_3 能刺激其合成。一些实验发现这种蛋白具有使硬组织吸收的作用，但这与啮齿动物切牙富含该蛋白，却从不发生生理吸收，而人牙本质中不含该蛋白的现象相矛盾。

蛋白质中的 γ－羧基谷氨酸能与钙等阳离子结合，但特异性和亲和力较低。由于它的碱性特征，可能影响矿物质形成。骨钙蛋白在矿化中无成核作用，它能可逆性的与羟基磷灰石附着，但不能吸附无定形的磷酸钙盐。骨钙蛋白抑制体外种植的羟基磷灰石的生长以及亚稳定态的磷酸钙溶液中钙化物的沉淀。

与骨钙蛋白不同，基质谷氨酸蛋白难以提取。目前人们只对骨中的基质谷氨酸蛋白进行研究，牙本质中也存在这种蛋白，与骨中的含量相近。

5. 骨涎蛋白（bone sialoprotein，BSP）　骨涎蛋白是一种高度糖基化和硫酸化的磷蛋白，最初由骨中分离出来，后又在牙本质中发现。骨涎蛋白约含 300 个氨基酸，富含谷氨酸和天冬氨酸。骨涎蛋白存在于成牙本质细胞及其细胞突，还存在于管周牙本质中。

骨涎蛋白在矿化组织中的作用尚不清楚。在体外试验中能促进羟基磷灰石晶体的形成，因此，骨涎蛋白的功能可能是促进晶体形成的启动和晶体的生长。

6. 骨连接蛋白（osteonectin）　骨连接蛋白是骨中的主要非胶原蛋白，因与胶原和羟基磷灰石有很强的亲和力而得名。它含有较多的天冬氨酸和谷氨酸，10% 的碳水化合物，0.5% 的有机磷，分子量约 30kDa。

牛牙本质中的骨连接蛋白，占可抽提蛋白总量的 4% ~ 6%，猪牙本质中也存在骨连接蛋白。免疫组化研究发现，前期牙本质中的骨连接蛋白染色密度高于小管间牙本质，成牙本质细胞内呈中度染色。在鼠牙本质中未发现骨连接蛋白。

骨连接蛋白广泛存在于非矿化组织的细胞外间质中，只是浓度较骨、牙本质低。骨连接蛋白与鼠 SPARC 蛋白高度同源，其基因表达并不局限于矿化组织中，因此，骨连接蛋白在矿化过程中可能没有特殊的作用。

7. 骨桥蛋白（osteopontin）　骨桥蛋白又称骨涎蛋白 Ⅰ（bone sialoprotein Ⅰ）或 44kD 骨磷蛋白（44kDa bone phosphoprotein），是骨基质中主要的磷酸化糖蛋白。骨桥蛋白具有一个 Arg-Gly-Asp 受体结构序列，具有这种受体的蛋白质能帮助细胞附着和伸展。骨桥蛋白存在于前期牙本质中，在牙本质中的

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

存在尚未完全证实。

另外，牙本质中还含有血清蛋白质，如白蛋白，是一种 50kDa 的 α 2HS– 糖蛋白。牙本质中血清蛋白的意义尚不清楚。

（三）蛋白多糖

蛋白多糖（proteoglycans，PGs）是牙本质中另一类主要的非胶原蛋白质，它是由许多多糖侧链与 1 个核心蛋白共价结合形成的大分子，其侧链由重复的二糖链单位组成，每 1 个单位由 1 个糖醛酸和 1 个 N– 乙酰氨基乙糖组成。

与软骨中的蛋白多糖不同，矿化牙本质中的蛋白多糖分子较小，分子量约为 75kDa，只有 1 ~ 2 个糖胺聚糖（glycosaminoglycans，GAGs）侧链。牙本质中的蛋白多糖主要是 4– 硫酸软骨素和 6– 硫酸软骨素，前者占 80%，后者占 14%，还有少量的硫酸角质素和硫酸皮肤素。

前期牙本质与牙本质中的蛋白多糖不同。前期牙本质中有大量的染色相当均一和强的 4– 硫酸软骨素、硫酸皮肤素、硫酸角质素和未硫化的软骨素，6– 硫酸软骨素相对较弱，而牙本质中只有 4– 硫酸软骨素和硫酸皮肤素。蛋白多糖在已矿化的牙本质中分布呈多相性，牙本质小管内明显，小管间牙本质内几乎没有。

蛋白多糖在不同组织内功能不同。蛋白多糖在牙本质发生中的功能之一就是可能影响甚至控制前期牙本质中胶原骨架的组织化。固定在固态支架上的牙本质蛋白多糖，在体外生理 pH 和离子条件下以及在体内均能诱导羟基磷灰石的形成，相反的，液态的蛋白多糖却在体外抑制矿物质形成。蛋白多糖与钙离子的结合是诱导羟基磷灰石形成的先决条件。

（四）生长因子

细胞外基质中含有许多多肽生长因子。对牙本质中的生长因子进行分析，发现牙本质中也存在着相同的细胞生长因子，如转化生长因子 β 超家族（TGF–βs）、胰岛素样生长因子（IGF）、成纤维细胞生长因子等，只是浓度较骨低。这些细胞生长因子据认为具有影响细胞的吸收和分化过程、放大细胞合成活动，增强组织生长和修复的功能。

（五）脂质

脂质（lipid）占牙本质有机质中很小的一部分，少于 2%。牙本质中的脂质成分并不特殊，2/3 的脂质可在脱矿时被提取，1/3 与组织中的矿物质紧密结合。脂质，尤其是酸性磷脂可能促进初始矿物质的形成，也可能控制矿物晶体的增长。牙本质中的有机基质及其功能作用见如表 3–4。

表 3–4 牙本质中的有机基质及其功能作用

成分	说　明	功　能
胶原	牙本质主要的有机成分（占 91% ~ 92%），以 I 型为主，有少量 V 型，Ⅲ型见于牙髓、牙本质形成早期	可能在牙本质矿化时起作用，提供牙本质结构支架、强度和弹性
磷蛋白	主要非胶原蛋白，分泌在矿化前沿，前期牙本质中无	在牙本质矿化中起重要作用
蛋白多糖	包括硫酸软骨素、硫酸角质素、硫酸皮肤素、核心蛋白聚糖和双糖链蛋白聚糖	有些抑制矿化；有些与钙非特异性结合，可能控制矿化或胶原纤维合成
含谷氨酸蛋白质	羧基反应为维生素 K 依赖性	可结合钙，可能通过控制局部钙水平启动或控制矿化过程
酸性糖蛋白	骨桥蛋白，65kD/95kD 糖蛋白	骨桥蛋白在成牙本质细胞与 ECM 之间起连接作用
生长因子	TGF–β、FGF、胰岛素样生长因子等	损伤和病理过程中控制新分化成牙本质细胞增生分化，刺激修复
脂类	无特异性脂肪	磷脂可能参与矿化

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

三、牙本质液和牙本质渗透性

牙本质内的流动液体占牙本质总体积的22%。牙本质液是牙髓毛细血管中血液的超滤成分，其组成在许多方面与血浆相似。牙本质液从成牙本质细胞之间流出，进入牙本质小管内，最后通过釉质的微孔渗透。牙髓的组织压为0.8kPa（6mmHg），因此，在牙髓与口腔之间存在着一个压力梯度，导致液体外向流动。窝洞制备或牙齿折裂后牙本质小管暴露，导致牙本质液以微液滴形式移向暴露的牙本质表面。对牙本质表面的干燥，如吹气、干热或用吸水纸尖可以使这种液体的外向移动加速。牙本质液在小管内的快速移动被认为是牙本质敏感症的原因之一。

细菌产物或其他污染物可以由多种因素导入牙本质液内，如龋病、修复过程或修复体下的细菌生长。这些损伤因子通过牙本质液渗透进入牙髓内，导致牙髓的炎症反应。

牙本质小管是牙本质内液体流动、扩散的主要通道，液体渗透性与小管直径和数目成正比，因此，牙本质渗透性与覆盖牙髓的牙本质小管数目成正比。在釉质牙本质界处，小管表面积占牙本质表面积的1%，而在近髓腔处，小管表面积可达45%，因此，深的窝洞制备下的牙本质渗透性比浅洞形下的要大得多，外周牙本质的抗渗能力要比近牙髓牙本质强。

根部牙本质渗透性远低于冠部，因为根部牙本质小管密度显著降低，如颈部牙本质小管密度为42 000/mm^2，而根部牙本质则仅为8000/mm^2。因此，根部牙本质内的液体流动仅为冠部牙本质的2%。根部外层牙本质的低渗透性使得毒性物质如菌斑细菌的产物不易透过。

影响牙本质渗透性的因素还包括：①小管内成牙本质细胞突的存在；②小管内胶原纤维的存在；③内衬于小管壁的呈鞘状的限制板结构。上述成分的存在使得小管的生理性或功能性直径仅为解剖直径的5%～10%。

龋病时牙髓在感染之前就早已出现炎症反应，表明细菌产物较细菌本身更早进入牙髓。龋损下的牙本质发生硬化，通过阻塞牙本质小管减少了细菌产物的通过。

在窝洞制备时对牙本质的切割产生微晶碎屑（即牙本质涂层），可以覆盖牙本质，阻塞牙本质小管的开口。因此，牙本质涂层可以降低牙本质渗透性，防止细菌进入牙本质内。酸蚀牙本质，尽管能去除这些碎屑，但同时显著增加了牙本质渗透性。

活髓牙的渗透性较死髓牙低。在活髓牙，细菌并不能很快通过暴露的牙本质小管进入牙髓内，牙本质小管的收缩和排列无序能阻止99.8%的已位于牙本质表面的细菌。但在牙髓已被摘除的牙，细菌能在较短的时间内进入髓腔。活髓牙的这种抵抗力可能由于：①牙本质液和成牙本质细胞突的存在；②牙本质液中存在着抗体或其他抗菌物质。

（Charles Lee　Frank Weine　Siqing Tang　James Dryden）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第四章

显示牙髓腔的方法

人一生中每一颗牙齿的根管系统都处于动态变化中，继发性牙本质和第三期牙本质的形成、牙髓钙化均会引起根管形态数目的改变。如原本哑铃型的单一根管由于上述因素可能在其中间出现硬组织间隔，形成部分融合或完全独立的两条根管，甚至多条根管，从而使根管系统趋于复杂化。因此，即使是同一颗牙不同年龄时段进行根管形态研究，结果可能存在显著差异。

正是因为根管系统的复杂性和它对根管治疗的重要性，国内外学者一直致力于根管系统的研究探索，根管系统形态学研究经历了由二维到三维、由破坏样本到不破坏样本的过程。1925 年 Hess 首次通过硬化橡胶灌注法展示了根管形态的复杂性与变异性，其后又有许多方法被应用于该项研究，一般分为破坏性方法和非破坏性方法两种。破坏性方法包括透明法、磨片法、连续断层切片法、组织切片法；非破坏性方法有多角度 X 线摄片技术、CT 技术、显微 CT 技术等。目前广泛使用的透明牙法是 1969 年 Barker 首先使用，透明牙可以直观的观察根管系统三维形态，有助于观察管间吻合、根管侧支、根尖分歧、根尖分叉、旁管及副根管等结构，而且制作简单、成本低廉。1999 年 Rhodes 等引入牙髓病学实验研究的显微 CT 技术以其准确、重复性好、可定量研究等特点代表根管形态学研究的发展方向。2004 年 Fan 等应用显微 CT 研究了下颌第二磨牙的 C 型根管的解剖形态，揭示了 C 型根管的复杂性。

第一节　显示牙髓腔的破坏性方法

一、透　明　法

透明法是将收集的欲透明的牙齿通过一系列的理化方法，使牙体内部潜在的空间清晰地显示出来，着色后肉眼能分辨细小的分支结构，而且是三维展示。因此，显示牙髓腔外形的透明法具有立体全景、细微展示、可反复观察和长久保存研究样本等诸多优点。

该显示方法的缺点是样本经过理化处理后，牙体硬组织有损失（如牙冠釉质丢失），若要展示髓腔与牙体表面之间的对应关系则不及影像学技术。

（一）透明牙处理过程

1. 收集样本　用于透明显示髓腔的样本，其牙体最好不能有龋坏和断裂，否则髓腔会因染色导致外形失真，影响对髓腔形态辨别，从而直接干扰为临床提供数据参考值的真实性。

2. 清洗消毒

（1）将采集到的样本先用浓度 3%～5% 的来苏尔液（甲酚皂溶液）浸泡消毒；流水漂洗；去除牙体表面软垢及非牙体组织或杂质；样本置入 3% 的双氧水中漂白；流水漂洗处理洁净的牙体，以备进入下一流程。

（2）将表面清洗干净的样本置入 2% 次氯酸钠溶液中除去堵塞根尖孔内的杂质，以便日后髓腔染色时更充分；流水漂洗后室温下除去水湿。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

3. 脱矿和髓腔着色 牙体是高度矿化的硬组织，为了能够透明牙体组织和染色髓腔，必须使用酸性溶液或化学试剂除去牙体组织中的矿盐结晶，从而使髓室壁易被染料着色。酸性脱矿液多用 3% 的盐酸溶液或使用 4% 的硫酸溶液，也可在 EDTA 溶液中将牙体脱矿。脱矿程度是牙体的质地可允许锐针刺入。

将脱矿充分的牙体，用注射法将染料直接从牙体殆面或舌窝加压注入髓腔内，直至根尖孔有染料溢出，洗涤牙体表面的颜料，以备下一步脱水处理。

有关牙体髓腔染色，有人认为负压虹吸法较为实用，除了避免从牙殆面注射因针道着色影响髓腔外形观察外，另一优点是用负压虹吸作用还使髓腔显形快捷而省力。但使用注射器加压注射髓腔着色的优点是可使髓腔充分显影着色，特别是侧副管形态；同时由于进入髓腔的染料充足，可以让样本长期保存不退色，这尤其对陈列室的展示样本特别有意义。

髓腔着色的染料有墨汁、品红、亚甲蓝等，但以墨汁最为清晰而且保存时间久远。但不论使用哪种染料，在灌注前都必须过滤掉染料中的杂质，应用后才会扩散至根管系统中每一细小分支。

4. 脱水与透明

（1）将注射有染料的牙体样本依次放入 65%、75%、85%、95%、100% 的乙醇中梯度脱水。

（2）将脱水完全的样本先放入二甲苯内初透明，直至显示牙体内部的髓腔形态，继而转入冬青油（水杨酸甲酯）中保存。

（二）髓腔透明的注意事项

1. 透明牙的前期处理过程一定要细致，若在样本前期准备中没刮除牙体表面的软组织，可使被制作的样本表面出现许多绒毛状结构而影响对髓腔形态的观察。

2. 牙体脱矿是透明技术中重要的步骤，脱矿液将牙体内的矿物盐与牙体胶质晶体模板解离出来并析出，当透明剂与余下晶体模板结合时产生相同的折光率，从而使染料着色的髓腔显影。因此，若被实验的牙体脱矿不充分，不但注射染色剂过程因质地坚硬而无法刺入，同时也可因残留的矿物盐而影响透明效果；如果过度脱矿又可使牙体晶体模板受损而断裂，最后整个牙体崩解导致实验失败。

3. 牙体在脱矿时水既是溶液，同时水分子又在不停进入牙体内补充因脱矿留下的空间，以保持牙体外形的丰满度。当脱水时，水又不停地被析出牙体外，此时牙体样本有不同程度的体积收缩，因此，牙体不要长时间暴露在空气中，否则牙体会变形。

4. 脱水过程如不彻底，致使牙体内残留有水分，透明时这些残留的水与透明剂结合生成雾状的水合产物，从而影响髓腔的显露和观测，因此脱水一定要充分。

二、磨片法和连续断层切片法

牙体硬组织磨片观察髓腔法是将采集的牙体消毒和表面洁净处理后，再通过砂轮磨除部分牙体组织以显露牙体内髓腔形态。该显示方法直接，而且操作简单，是传统教学中最常使用的示教样本制作方法之一。

该方法的优点是直接而快速显露髓腔，并且实验过程中需要的设备简单，学生可以自行操作实现髓腔显露，为临床根管的治疗和建立髓腔空间构形奠定基础。缺点是对牙体组织损耗多，暴露髓腔不全面，若磨片时技术不熟练，可使需要的信息丢失。在磨片操作中由于需要磨除大量的牙硬组织，故有许多信息量也随之丢失而无法保存。

在磨片的基础上，发展了一种牙体硬组织切片显示髓腔的方法，主要技术是将牙体切割成水平方向和纵轴方向的硬组织薄片，其优点是连续断层解剖，使需要观察的髓腔断面呈现在每一片硬组织切片上，通过摄影后再经三维重建处理可显示髓腔立体空间外形。缺点是切割牙体的硬组织片时因损失部分组织，故也会丢失部分信息。

由于磨片实用，可直接用于教学之中，现将方法介绍如下，供制备教学样本选用。

（一）磨片法

1. 样本选择和处理 采集外形完整的牙体先用 3%～5% 的来苏尔液消毒 1 周，在洗净并手工洁去

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

牙体表面的结石或菌斑牙垢后，将牙体样本室温下干燥 1 周。

2. 髓腔显示　将洗净干燥后的牙体，用手指夹持，在有防尘罩的技工打磨机砂轮下，沿牙体长轴逐渐磨除牙体组织直至显示出髓腔形态，或与牙体长轴垂直磨除部分牙体组织以显示髓腔的横断面。

磨除牙体硬组织的操作过程中，应边磨除牙体组织边观察髓腔形态显露完整与否，随时调整角度和力量，直至髓室与根管呈现在一个视野中。

3. 注意事项　在手工磨除牙体组织及显露髓腔过程中，手指握持牙体力量应均衡，防止用力不当而受伤。防尘罩的作用有防止牙体脱手溅落伤及自己或他人，同时又有防止磨除牙体组织所产生的粉尘被吸入（打磨机有水雾防尘最为理想）。

由于髓腔在牙体的穿行并非在一个平面内，所以磨除硬组织时应调节打磨面的角度与速度，尽量使髓室和根管在一个视野内显示。

（二）连续断层切片法

1. 样本收集及前期处理　将收集到的牙体样本消毒和清除表面异物，其实施方法同牙体磨片样本的处理过程；继而将干燥的牙体样本用树脂包埋呈柱状。

2. 样本切片及编号　将经过消毒和清洁处理过的牙体样本用树脂包埋成柱形，再固定于切片机平台上调节好需要的层厚，启动切片机把包埋的样本切割成所设定的组织片厚度，按顺序编号备研究和照相之用。

片切的硬组织牙片可以在 0.3～1.0mm 之内任意调节，切片可以在垂直于牙体长轴或平行于牙体长轴之间选择，也可以从颊－舌向或近－远中向片切，组织切片方位应在包埋时做好标记。

3. 优缺点比较　牙体硬组织切片法在损耗组织量小的情况下观察髓腔形态，比磨片方法能更多地获取髓腔结构信息，由于丢失组织量少，所以该法比透明法更能展示髓腔的空间比例位置（透明法牙体外形有改变）。缺点：①平行牙体长轴切片时，对多根牙不能在同一视野内观察牙髓腔的全貌；垂直牙体长轴切片时需通过摄影和三维重建才能完整显示牙髓腔。②切割牙体中仍损失了部分组织量，总体来讲，它不及透明法显示髓腔。

三、铸　型　法

铸型法是将塑形剂灌入牙髓腔内，通过塑形剂的流动充满牙髓腔的所有管道，当除去塑形剂周围的牙体硬组织后，原有髓腔的空间则被塑形剂印模展示，观察到的髓腔形态更有立体效果。缺点是展示的只是一个立体的髓腔，由于去掉了髓腔外的所有支架组织，故髓腔与牙体表面对应关系也就完全丧失。

（一）样本收集和制作过程

1. 选择外形完整的牙体，消毒、去除表面结石和软垢，流水冲洗后取出自然干燥。

2. 在髓室顶和舌面窝开窗暴露髓室并拔除牙髓组织，置入 5% 的次氯酸钠溶液中浸泡 24 小时，再用流水漂洗干净后，用空压机从牙体开髓窗口吸出残余的牙髓组织；经上述处理过的样本自然干燥 1～2 周后，放入马氏固化炉中除去牙体内有机质；再用石英粉包埋牙体（露出牙体开窗口）并加热待用，将低熔点合金（60～70℃）熔化后从开髓窗口灌入直至有合金溢出，放置让其自然冷却。

3. 待灌入牙体内的合金冷却凝固后，去除表面的包埋石膏层及合金铸型表面的牙体碳化组织，将铸模放入 5% 的盐酸溶液中 1～2 天，再流水冲洗髓腔铸模表面的残留杂质，修去多余的合金部分，此时一件由合金铸型的髓腔空间构形即被显露出来。

（二）铸型模型的精制和保存

将髓腔铸模件置入 15% 的氢氧化钾溶液浸泡，使其恢复合金原色，然后水洗、晾干，用有机玻璃做成支架按顺序摆放，一副有金属光泽的髓腔形态即被显示。

四、组织切片法

显示和研究髓腔也可以通过组织切片的方法实现，其过程与大体组织切片的程序类似。该显示髓腔的优点是所制作的组织片不但可以展示髓腔形态，而且还可以观察牙髓组织结构；组织切片显示髓腔的

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

不足之处也是因脱矿而使牙体外形改变，从而影响髓腔与牙体外形之间的参照改变。

另外，还有一项光学显微镜观察硬组织磨片的技术。它先将牙体切割成薄片，然后手工在磨石上把组织块磨制成适宜显微镜观察的硬组织片，该过程与骨组织制片相同，但劳动强度大，也更费时费工。

组织切片过程及注意事项：将采集到的牙体用甲醛液固定1周，然后去除牙体表面的软垢、结石和异物；用酸溶液或EDTA将牙体脱矿至组织可被锐器切割，然后按下列步骤进行组织制片：脱水—透明—包埋—组织切片—摊片—染色—封固—观察。

牙体的组织切片和显微镜下观察是研究牙髓组织形态和成分的经典方法。但在采集牙体样本时应该取材后马上固定，即将牙齿拔除后立即置入固定液中保存，否则牙髓组织坏死液化后往往影响检测结果；牙体在生活状态时取材制片，对反映组织的形态和研究生理状态下髓腔理化特征有独到优势，然而仅对髓腔形态进行观测则很少使用组织制片方法。

第二节　显示牙髓腔的非破坏性方法

一、X线根尖片技术

（一）传统胶片成像技术

1. 分角线投照技术　分角线投照技术是临床上广泛采用的牙片投照方法，其原理是根据共边三角形内若有两个角相等，则这两个三角形全等这一原理。胶片平面与牙长轴形成一夹角，在该夹角被一假想的直线或平面平分时，则可形成有一条共边的两个相等的角。表示X线中心线的一条直线穿过牙而与分角线垂直时，便成为三角形的第三边。直角所对应的边分别为牙长轴和牙在胶片上形成图像的牙长轴，因而在投照正确时，胶片上图像牙长度应与牙实际长度相同（图4-1）。

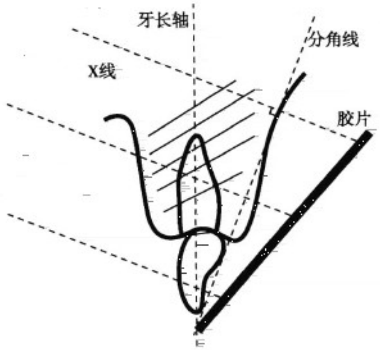


图4-1　分角线投照技术示意图

分角线投照时首先调整患者体位，使患者头矢状面与地面垂直。投照上颌牙齿时，外耳道上缘至鼻翼之连线（听鼻线）与地面平行。投照下颌牙齿时，外耳道口上缘至口角之连线（听口线）与地面平行。其次合理放置胶片并固定，投照前牙及后牙时胶片边缘高出牙冠7～10mm，目的是能使照片形成明显的对比度及避免牙冠影像超出胶片。置入胶片时动作要轻柔，并嘱患者深吸气。然后调整X线中心线角度及位置，投照时X线中心线需要倾斜一定的角度，使X线中心线与被检查牙的长轴和胶片之间的分角线垂直。同时X线中心线与被检查牙的邻面平行，以避免牙的邻面影像相互重叠，影响诊断。

投照时体表的位置如下：①投照上颌牙时，以外耳道口上缘至鼻尖连线为假想连线，投照上中切牙X线中心线通过鼻尖；投照上单侧中切牙及侧切牙时，通过鼻尖与投照侧鼻翼之连线的中点；投照上单尖牙时，通过投照侧鼻翼；投照上前磨牙及第一磨牙时，通过投照侧自瞳孔向下的垂直线与外耳道口上缘和鼻尖连线的交点，即颧骨前方；投照上第二磨牙和第三磨牙时，通过投照侧自外眦向下的垂线与外耳道口上缘和鼻尖连线的交点，即颧骨下缘。②在投照下颌时，X线中心线均在沿下颌骨下缘上1cm的假想连线上，然后对准被检查牙的部位射入。

2. 平行投照技术　根尖片平行投照技术又称为直角技术、长遮线筒技术，或长焦距平行投照技术。其基本原理是胶片必须与牙长轴平行放置，X线中心线就可与牙齿长轴和胶片垂直（图4-2）。这种投照方法所产生的牙变形较小。在放置胶片时，为了保证胶片和牙长轴平行，胶片应尽量靠近口腔中心，远离牙齿，以便利用口腔内最大高度。由于置片架和遮线筒是连在一起的，这样便可以保证X线中心线与胶片垂直，而且基本上消除了可以造成X线图像放大和变形的散射线。由于使用长遮线筒，在投照时所

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

需要的曝光量较大。因此，最好采用高电压 70～90kV 并应使用快速胶片，以减少曝光时间，降低曝光量。

根尖片分角线操作简便，患者本人用手指固定胶片，无需特殊定位装置，质量可得到保证，图像准确、真实。其缺点是根据一条假想的角平分线来调整 X 线中心线的方向，往往不够准确，当 X 线中心线与牙长轴和胶片不垂直，而所拍摄出的牙图像往往失真变形，特别是在拍摄多根牙时，图像失真，变形明显。采用平行投照技术时 X 线中心线与胶片表面垂直，而不是与一条假想的线垂直，因此在技术上容易得到保证。由于牙长轴与胶片平行，X 线中心线与牙长轴和胶片均垂直，因而拍摄出的 X 线图像可以较准确、真实的显示牙与牙周结构的形态和位置关系。但这种技术要求使用持片器和定位指示装置，操作比较费时，为其缺点。

3. 水平移位根尖片投照技术　由于根尖片 X 线自颊侧向舌侧射入，故颊舌侧根管影像在常规根尖片上常常重叠，无法清楚显示。为了将颊舌侧根管影像分开加以显示，就需要使用水平移位根尖片投照技术。投照时患者体位、X 线球管的垂直角度等都与常规投照无异，只是 X 线球管的水平角向患牙的远中或近中偏移一定角度，这样 X 线在水平方向上呈斜线射入牙体。如果水平偏移角度合适，就能将颊侧和舌侧根管分别投照在胶片的不同区域，同时不与相邻牙根的根管影像相互干扰（图 4-3，图 4-4）。一

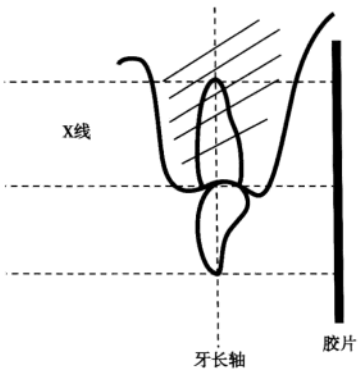


图 4-2　平行投照技术示意图

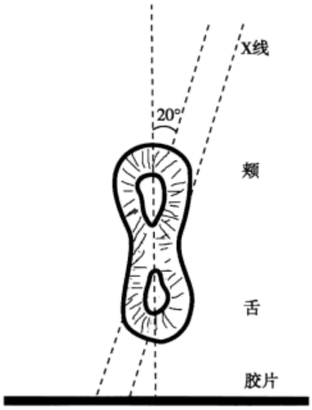


图 4-3　水平移位投照技术示意图

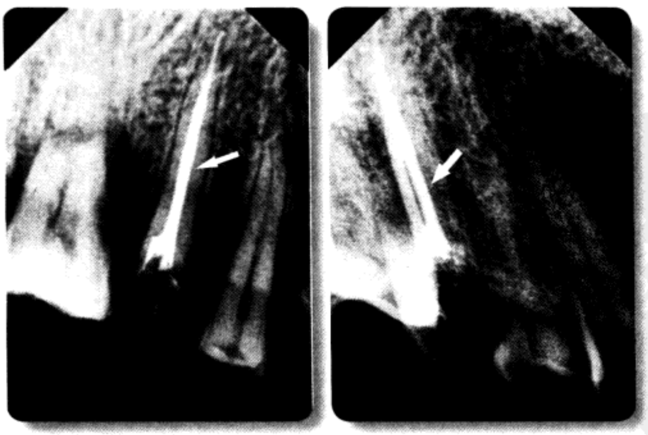


图 4-4　（A）分角线投照技术时右上颌第二前磨牙显示为单根管
（B）水平移位投照技术时右上颌第二前磨牙显示为双根管

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

般水平偏移角度为 20° 左右，可根据颊舌侧根管间距大小做适当调整，如果间距小就增加偏移角度。拍摄时 X 线球管向哪个方向偏移应标明，以方便读片。自近中向远中方向投照时，颊侧的根管被投照在略偏远中的位置；自远中向近中方向投照时，颊侧根管的影像则位于略偏近中的位置。

（二）数字化牙片成像技术

数字化成像技术依据数字图像处理系统可分为直接数字成像系统（有线连接系统）及间接数字成像系统（无线连接系统），前者以 CCD 系统为代表，后者以 CR 系统为代表。

1. 直接数字成像系统　该系统利用带电耦合器（charge coupled device，CCD）的传感器感受 X 线信号。其数字图像处理系统由四部分组成：①传感器（sensor）简称探头，为平板型探测器（图 4-5），其体积如牙片大小，厚度为 4.5mm，中间或边缘有一连接线。传感器的边缘圆钝、光滑，避免损伤口腔黏膜。传感器上有接收 X 线的敏感区，内含有一稀土屏闪烁器将 X 线信号转换为光信号。②光导纤维束和 CCD 摄像头，位于连接线内的光导纤维束有紧贴的闪烁体，将可见光信号传输给纤维另一端的 CCD 摄像头，CCD 将光信号转换为电信号，后者沿导线输入到计算机内的图像处理板。③图像处理板，处理由 CCD 传送来的信号，经过 A/D 转换器转换成 12 位 2 进制数字信号，数字信号自动调至 8 位 2 进制数字，每个数字信号对应一个像素（pixel），因而像素具有 256 个灰度用于成像，可转换成 4096 级灰度的图像信号，使图像立即在电脑屏幕上显示。④计算机及打印系统，完成图像处理、存储、管理和输出，并可通过计算机网络将图像直接送到医师诊断室，也可将图像打印出来。



图 4-5　传感器

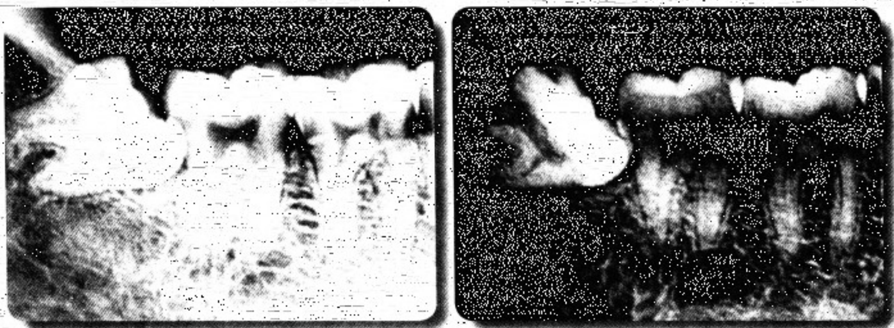
2. 间接数字成像系统　CR 系统（computed radiography）共有三部分：①信息采集部分：X 线管和成像板（即 IP 板）；②信息转换部分：读出装置（激光扫描器和 A/D 转换器）；③信息处理与记录部分：显示与记录装置。CR 系统不以胶片作为记录和显示信息的载体，而是使用可以记录并由激光读出 X 线影像的 IP 板作为载体。IP 发射荧光的量依赖于一次激发的 X 线量，即 IP 在用于 X 线摄影时具有良好动态范围。比常规 X 线摄影中的增感屏 / 胶片组合动态范围宽得多。可精确的检测出每一种组织间小的 X 线吸收的差别。IP 均可在普通室内明间进行操作，无需使用暗室。影像板厚度与牙片相似，容易放入口内，位置也较准确。投照方法和常规 X 线摄影方式相同，能与常规 X 线摄影设备兼容。IP 可以在强光下抹消潜影，重复使用，一般 IP 使用寿命可达 2 万次以上。

3. 数字化 X 线摄影的优点和不足

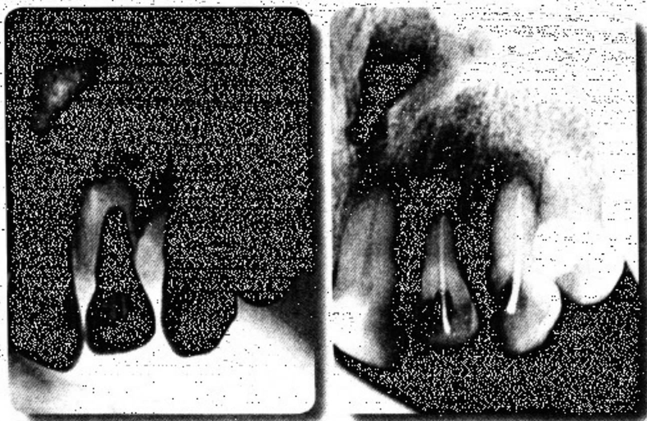
（1）数字化摄影与传统胶片摄影相比有以下优点：①数字化系统设备不需要胶片，无需显影，不用暗室；②数字化牙片使用最小的投照剂量即可获得很高的图像质量；③数字化牙片投照条件的宽容度大，致使废片率明显下降；④具有图像后处理功能（如对比度、亮度、边缘增强、放大、黑白反转、局部放大、伪彩等）及线距、角度、密度的测量，能提高其应用价值（图 4-6）。还可将照片复制、打印、自动存档。与患者有关的准确病案资料将由计算机自动完成，随时可调用、检索照片。

（2）数字化牙片技术的不足之处：①数字化成像技术如采用的 CCD 质硬，放入患者口腔内有不适感，尤其是拍摄下颌后磨牙时不易任意摆放；而传统根尖片质软，不适感不明显。②激光打印图像不如电视屏幕显示清晰，要两者结合观察才能达到更好的效果，打印图像长期保存易退色、模糊；如果没有实现计算机联网，用打印出来的图像诊断对于用传统口腔科胶片诊断不具有绝对优势。③价格较昂贵。相信随着计算机软件的开发以及性能更为优良的感光物质的应用，将会逐渐克服数字化 X 线摄影术的一些不足，将来可能取代传统的 X 线胶片成像技术。

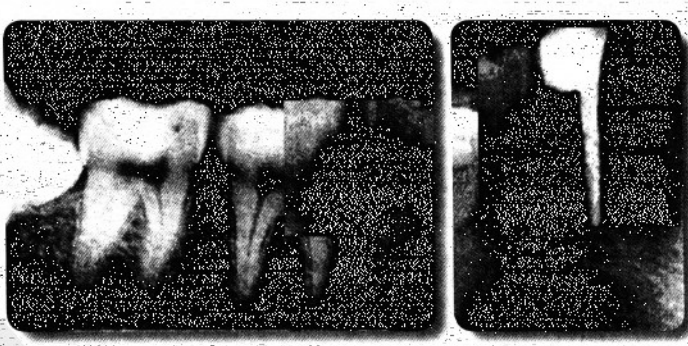
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）

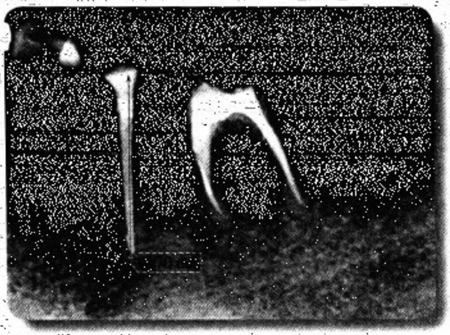


（B）



（C）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（D）

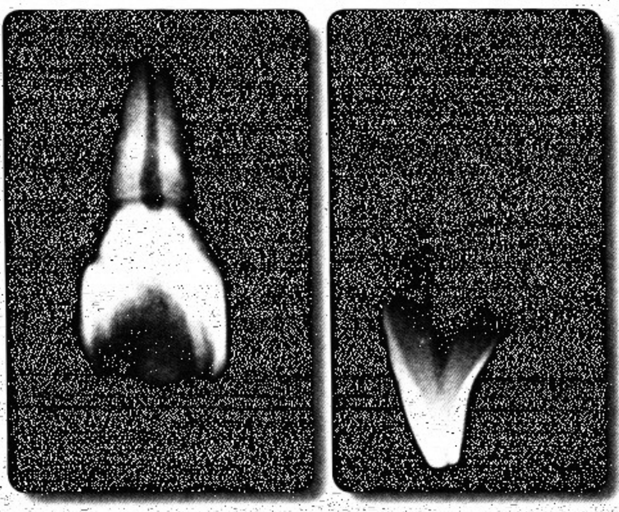
图 4-6 （A）对比度、亮度调节 （B）黑白反转 （C）影像放大对牙齿疾病诊断有意义 （D）线距测量

（三）正常牙髓腔的影像

1. 恒牙髓腔及根管 X 线表现

（1）切牙的髓腔形态

1）上颌切牙的髓腔形态：①上颌切牙的髓腔较大，根管较粗；②髓室与根管无明显界限；③多为单根单管，根尖孔多位于根尖顶（图 4-7）。



（A） （B）

图 4-7 上颌切牙牙片

（A）唇舌向观 （B）近远中向观

2）下颌切牙髓腔形：①下颌切牙髓腔体积最小，唇舌径大于近远中径；②根管多为窄而扁的单根管；③分为唇舌两管者约占 10%；④根尖孔多位于根尖顶（图 4-8）。

（2）尖牙的髓腔形态

1）上颌尖牙的髓腔形态：①与相应的牙体外形相似；②髓室与根管无明显界限；③尖牙是唇舌径很大而近远中径较窄的单根管，根尖孔多位于根尖顶（图 4-9）。

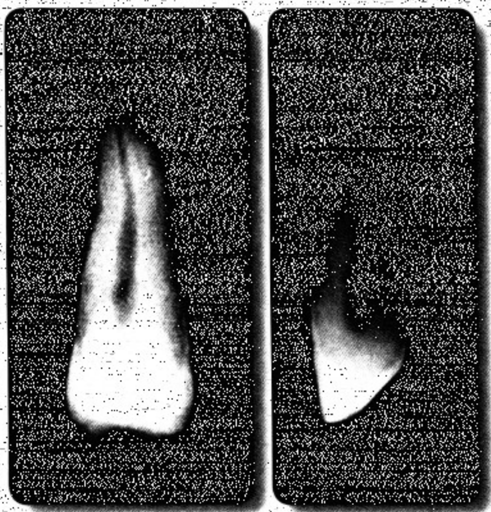
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　　（B）

图 4–8　下颌切牙牙片

（A）唇舌向观　（B）近远中向观



（A）　　（B）

图 4–9　上颌尖牙牙片

（A）唇舌向观　（B）近远中向观

2）下颌尖牙髓腔形态：下颌尖牙的髓腔形态与上颌尖牙相似，髓腔唇舌径大而近远中径较窄。与上颌尖牙不同点为髓室和根管都较上尖牙狭窄，髓角较圆钝，根管为双管者占 4%，根尖孔多位于根尖顶（图 4–10）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

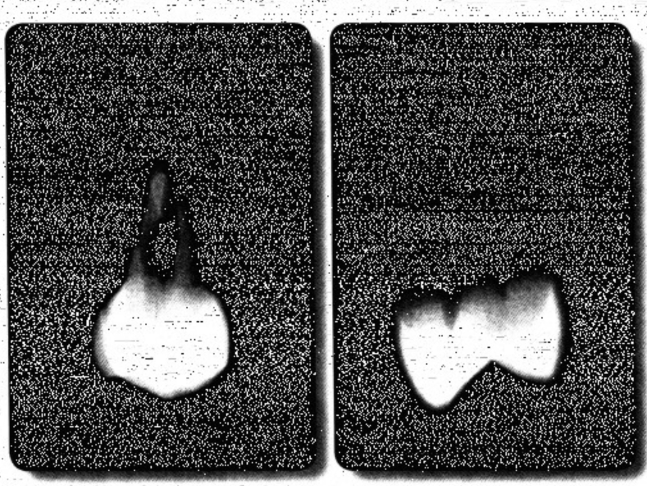


（A）　　（B）

图 4–10　下颌尖牙牙片

（A）唇舌向观　（B）近远中向观

（3）上颌前磨牙的髓腔形态：上颌前磨牙的髓室类似长立方形，颊舌径大于近远中径；上颌前磨牙的根管可分为下列 4 种类型：①单根单管型；②单根双管型；③双根双管型；④单根单双管混合型（图 4–11）。



（A）　　（B）

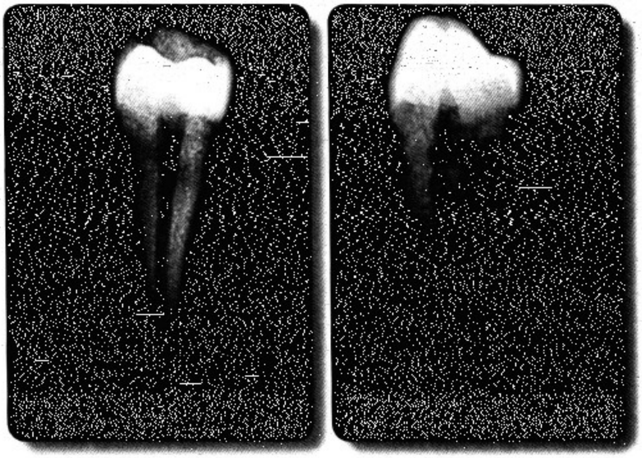
图 4–11　上颌前磨牙牙片

（A）颊舌向观　（B）近远中向观

（4）下颌前磨牙的髓腔形态：下颌前磨牙髓室的颊舌径与近远中径相近，髓室顶上有颊、舌两个髓角，多为单根单管型、双管型或单双管混合型者约占 17%（图 4–12）。

（5）上颌磨牙的髓腔形态：上颌磨牙的髓室似立方形，髓室顶上有 4 个髓角；髓室底上可见 3 或 4 个根管口，与相应的根管相通（图 4–13）。

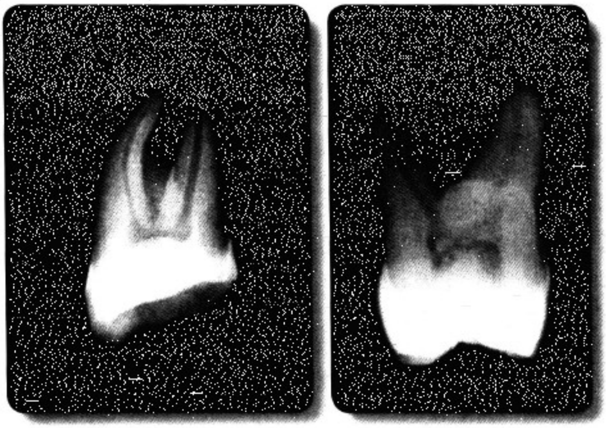
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　　　　　　　　（B）

图 4–12　下颌前磨牙牙片

（A）颊舌向观　（B）近远中向观



（A）　　　　　　　　（B）

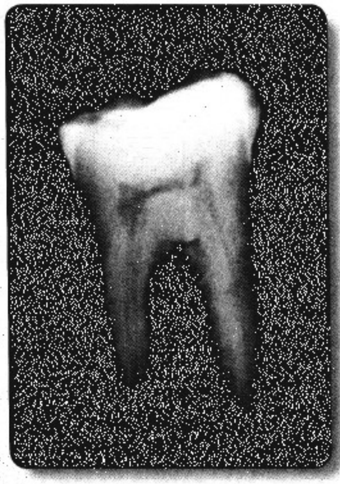
图 4–13　上颌磨牙牙片

（A）颊舌向观　（B）近远中向观

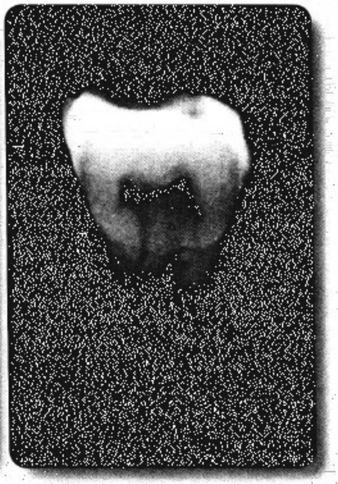
（6）下颌磨牙的髓腔形态：下颌第一磨牙近中根管为双管型或单双管混合型者共约占 87%；远中根管为双管型或单双管混合型者约占 40%（图 4–14）。下颌第二磨牙近中根管为双管型或单双管混合型者共约占 64%；远中根管为双管型或单双管混合型者共约占 18%。根管面呈 C 型者约占 10%。

2. 乳牙髓腔及根管 X 线表现　乳前牙多为单根管，偶见下颌乳切牙根管分为唇、舌向两个根管。乳磨牙通常都有三个根管：上颌乳磨牙有两个颊侧根管，一个舌侧根管；下颌乳磨牙有两个近中根管，一个远中根管。下颌第二乳磨牙有时可出现四个根管，其分布为近中两个根管，远中两个根管。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）



（B）

图 4-14 下颌磨牙牙片

（A）颊舌向观 （B）近远中向观

（四）牙体组织的异常影像

1. 牙体形态异常

（1）畸形中央尖：由成釉器异常突起所致，好发于下颌或上颌第二前磨牙。影像学表现：高出殆面 2～3mm 的圆锥形突起；多伴牙根短小，髓室根管粗大，根尖孔呈喇叭口样；易合并龋坏及根尖感染（图 4-15）。

（2）畸形舌侧窝、畸形舌侧尖、牙中牙：统称为牙内陷，由于成釉器突出或内陷到牙乳头中，易发生龋坏，好发于上颌侧切牙。影像学表现：牙体形态异常，呈圆锥状，髓腔形态不规则，可见与牙冠重叠的高密度小牙尖，为畸形舌侧尖；也可在舌侧窝出现一透射的纵形裂沟，为畸形舌侧窝或畸形舌侧沟；牙内陷过深，由于釉质密度较高，在牙中央形成类似小牙的结构与患牙重叠，称牙中牙。牙内陷常伴有根尖周病变，为低密度病变。

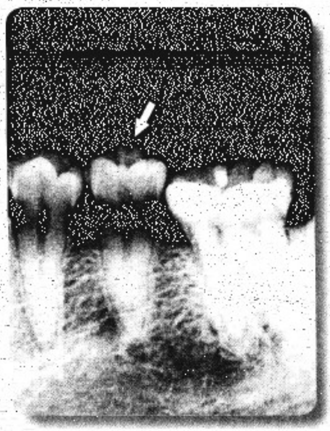
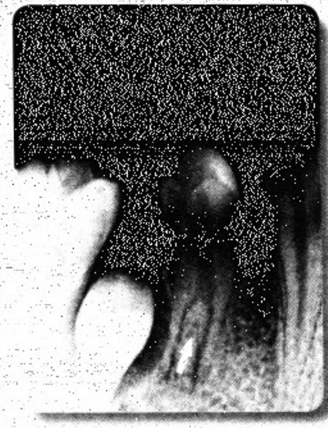


图 4-15 畸形中央尖

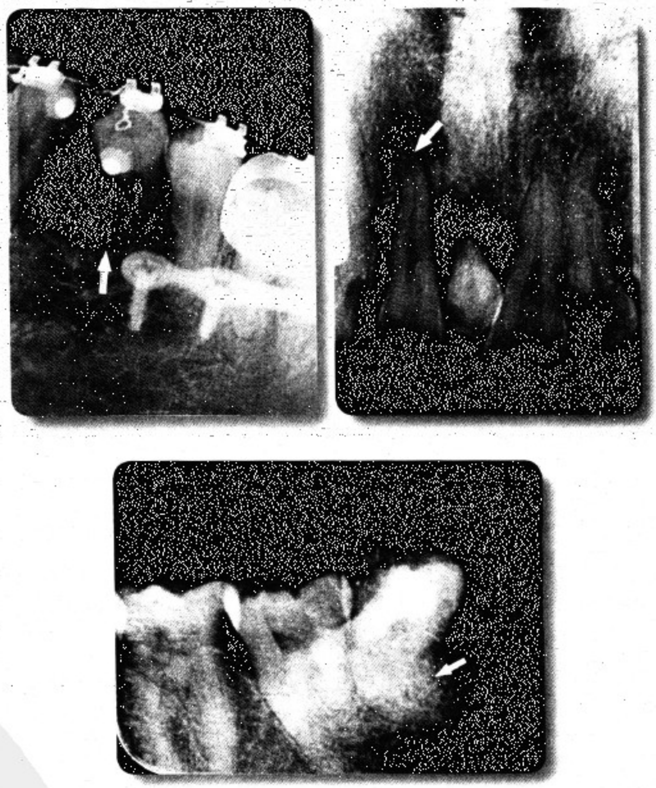
（3）融合牙：是由两个正常牙胚相互融合而成。分为牙冠融合、牙根融合和冠根融合。影像学表现：分为完全性融合和不完全性融合，完全性融合为牙冠和牙根融合成一个巨大畸形牙；不完全性融合是牙冠或牙根融合，牙冠融合表现为两个根管，牙根融合为一个粗大的根管，可伴有根尖感染。影像检查目的是确定融合的方式、根管情况及根尖是否伴有炎症。

（4）牙根异常：是牙在发育期间受到某种因素的影响而造成的牙根数目异常和形态异常[图 4-16（A）]。临床及影像学表现为牙根过短或过长、弯曲、多生牙根和牙根融合等。牙根弯曲程度可不同，牙根和牙冠形成明显的弯曲角度，称为弯曲牙齿[图 4-16（B）]，常见于上颌中切牙，需 X 线检查确定弯曲方向和程度。恒磨牙尤其是第三磨牙，多为融合根，变化多种多样，数目可多可少。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）



（B）

图 4-16 （A）牙根及根管形态异常（B）牙根弯曲，根管形态亦弯曲

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

2. 牙体结构异常

（1）遗传性乳光牙本质：遗传性乳光牙本质又称牙本质发育不全，为常染色体显性遗传，无性连锁。组织病理特征为釉质结构基本正常，牙本质小管数目减少或没有，小管管径较大，排列不规则，髓室变小消失。临床及影像学表现为牙冠短小，牙间隙增大，髓室根管形态异常，闭塞或显示不清（图 4–17）。

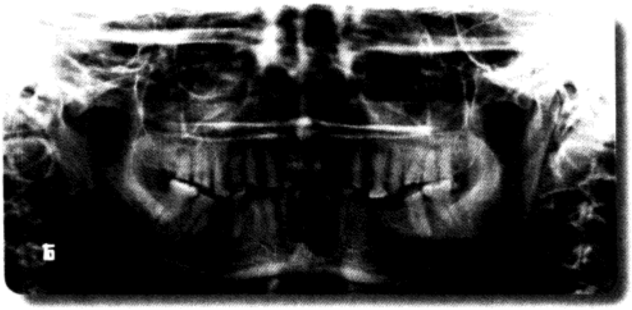


图 4–17　遗传性乳光牙本质

（2）多生牙：又称为额外牙，多位于上颌两中切牙之间称为正中牙，其次为第三磨牙的远中称为第四磨牙。正中牙影像学表现为上颌中切牙之间一小的圆锥形牙，根短小，髓腔亦短小。影像检查可确定多生牙的数目、位置、形态及与邻牙的关系（图 4–18）。



图 4–18　上颌前部不同表现的多生牙

（五）牙髓疾病的髓腔 X 线表现

1. 牙髓钙化　其成因为各种理化因素长期的、缓慢的刺激，导致牙髓变性后钙盐沉积，形成大小不等的沉积物。影像学表现分为局限性钙化和弥漫性钙化。局限性钙化为髓石，X 线示局部高密度圆形影或线条状影（图 4–19）；弥漫性钙化示正常髓室及根管低密度影变窄或消失（图 4–20）。

2. 牙内吸收　其成因为不良刺激导致牙髓组织肉芽性变，其内产生破骨细胞引起髓腔内牙本质吸收，一般由外伤或慢性炎症所致。影像学表现为患牙髓腔扩大，呈圆形、椭圆形或不规则低密度影，牙体硬组织变薄（图 4–21）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

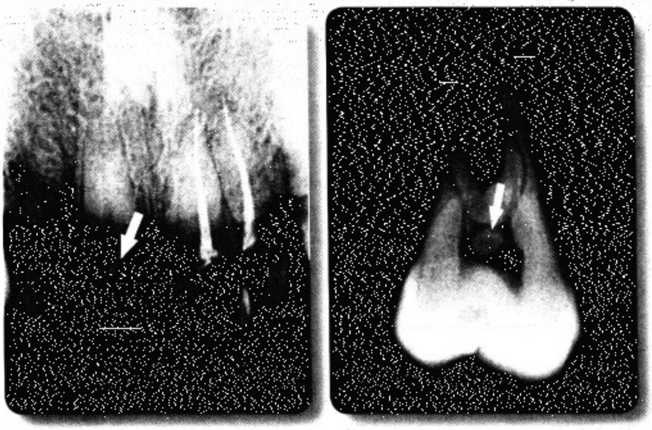


图 4–19 前牙、后牙髓石

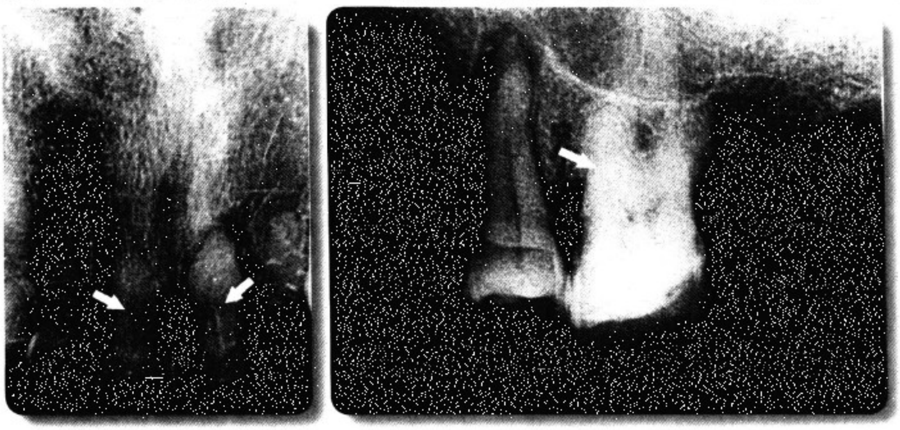


图 4–20 弥漫性钙化，髓腔消失



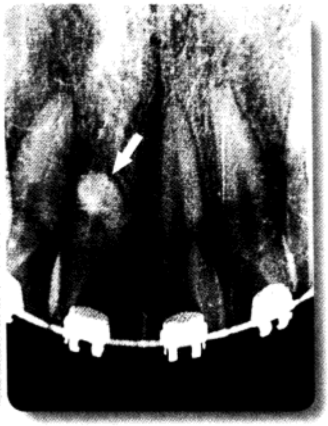
图 4–21 牙内吸收

3. 牙根外吸收 牙根外吸收原因较多：阻生牙可使邻牙受压发生牙根外吸收；正畸治疗中矫治器牵引力过大也可发生牙根外吸收；牙周炎、根尖周炎及根管治疗后的牙可发生牙根外吸收；牙再植后可发生牙根外吸收。影像学表现：阻生牙压迫所致吸收一般较严重，可达牙颈部；正畸治疗中矫治器牵引力过大，其特点是多数牙根变短，根尖圆钝，可伴髓腔缩窄；牙周炎常伴有较严重的牙槽突垂直吸收，牙根被吸收端通常不光整，甚至呈锯齿状；外伤后可见冠折、根折、牙脱位，折断的根尖段尖细、模糊或消失，牙根断面多平滑，根尖可有透影区；牙再植术后牙根吸收最初可见从牙侧面开始，牙周膜影像消失，根面不光整，有凹陷缺损，逐渐吸收加重，直至整个牙根消失，被骨组织所替代，仅遗留牙冠附着于牙槽嵴顶或脱落（图 4–22）。

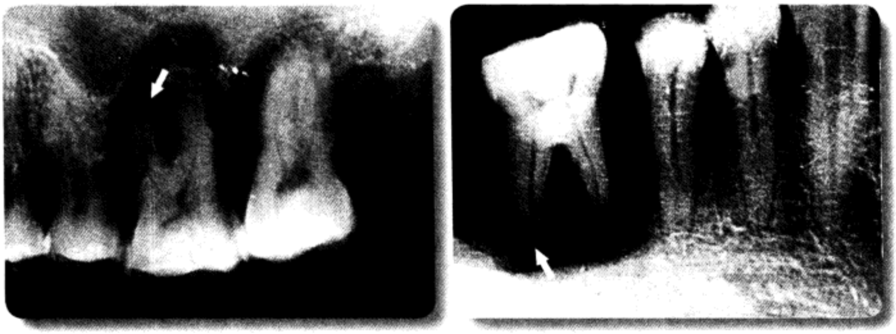
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



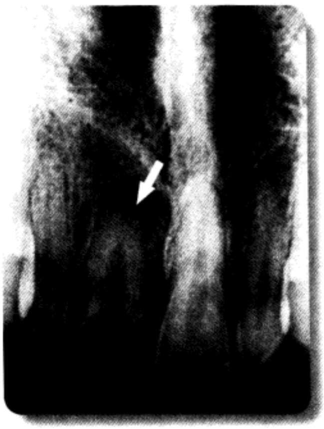
（A）



（B）



（C）



（D）



（E）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（F）

图 4-22　牙根外吸收

（A）阻生牙压迫致牙根外吸收（B）正畸治疗矫治器牵引力过大致上颌中切牙牙根外吸收（C）牙周炎致牙根外吸收（D）牙外伤致牙根外吸收（E）根尖病变致牙根外吸收（F）乳牙牙根生理性吸收

4. 牙骨质增生　牙骨质增生由慢性炎症、创伤等原因所致，成牙骨质细胞活跃，产生牙骨质沉积在病变的边缘及正常牙周膜处。常见于龋坏牙、咬合 创伤牙，多为单个牙。影像学表现为牙齿根部膨大增生呈杵状，根尖孔易闭塞，牙周膜间隙变窄或消失（图 4-23）。

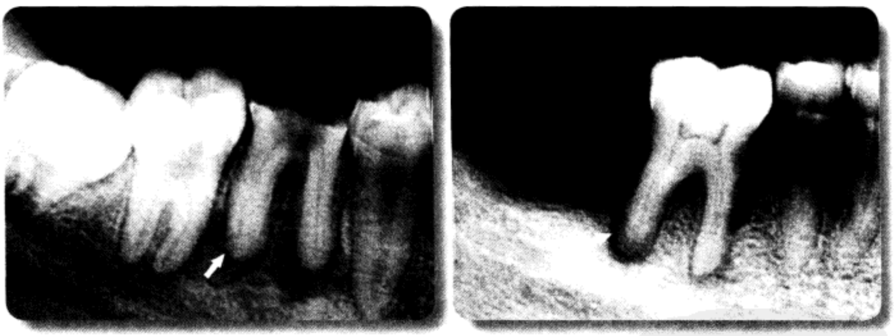


图 4-23　牙骨质增生不同表现

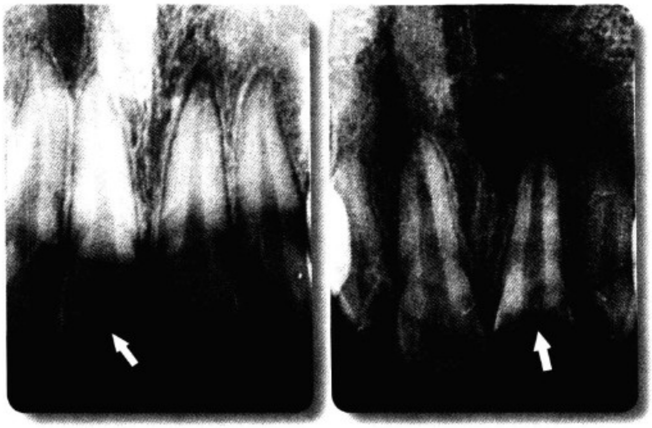
5. 牙折　牙齿的连续性、完整性受到破坏称为牙折。外伤性牙折多见于前牙；按部位可分为冠折、根折和冠根联合折；按折线方向可分为水平、垂直和斜行折断；影像学表现为 X 线片上一条较清晰的透亮线，也可呈锯齿状；嵌插牙折时牙根变短（图 4-24）。

非外伤性牙折临床上牙冠无折裂，䶢面磨损，牙有松动和叩痛，并有牙周炎，深牙周袋。影像学表现牙根折断线多呈纵形、横形、斜形，根管局部或全部变宽，牙根脱位（图 4-25）。

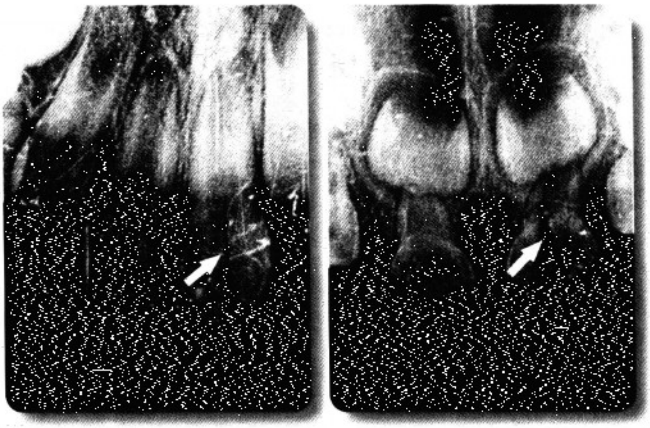
二、锥形束 CT 技术

由于口腔颌面组织解剖结构的复杂性和传统影像技术的局限性，牙片因图像重叠、变形等因素的影响，常不能显示牙齿的细微和立体结构。近年来，锥形束 CT（cone-beam computed tomography，

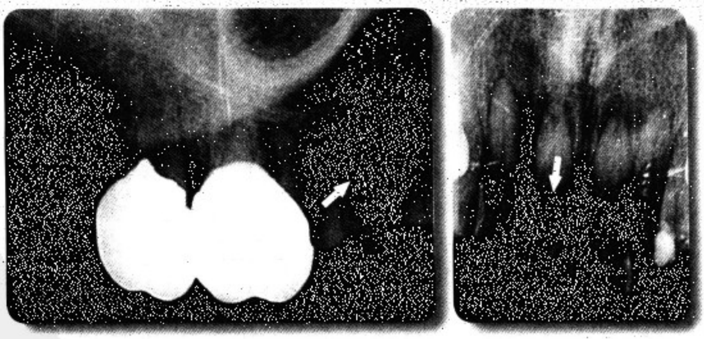
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）



（B）



（C）

图 4–24　牙折

（A）冠折　（B）牙冠纵折　（C）根折

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

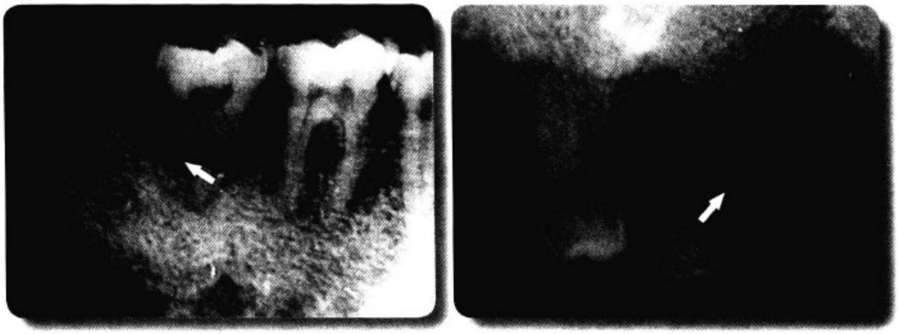


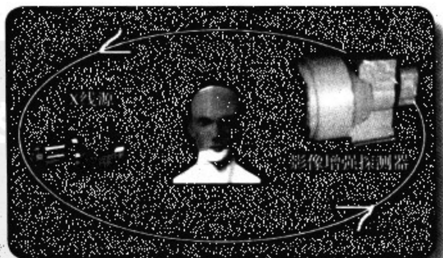
图 4-25　牙根折裂

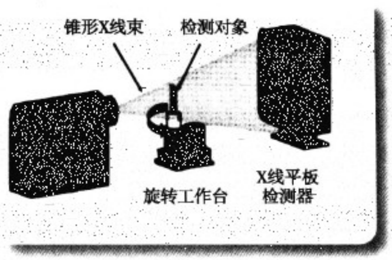
CBCT）的应用为临床医师获取口腔颌面部的多维影像信息提供了更好的方式。CBCT 不仅可以提供冠状位、矢状位和轴面等多平面重建影像，还能够直观的显示三维立体结构。锥形束 CT 是目前诊断牙体及牙髓疾病较为理想的影像技术。本节介绍锥形束 CT 的特点及其在牙体牙髓病诊断中的应用。

（一）锥形束 CT 的产生背景

CT 的开发主要是为了诊断身体中较大部位的疾病，而对于口腔疾病病变内的微小变化常因其图像的空间分辨率较低而欠佳。有学者于 1992 年开始研发小型的用于口腔科 X 线计算机断层摄影仪器，并在 1997 年完成了专用于口腔的 CT 原型机。在此基础上，欧洲于 1999 年推出锥形束 CT 技术，2001 年在美国开始试用，2003 年已取得 FDA 的认可。CBCT 技术自研发以来，因其拍摄时间短、设备结构紧凑、占地面积小、放射剂量低，同时又集合了数字化全景功能、头颅侧位、断层及 3D 立体成像于一身，进而受到越来越多的口腔医师的青睐。

锥形束 CT 采用低能量的旋转阳极管，图像采集为大口径的锥形 X 射线束，并采用带有特殊影像增强器（非晶硅平板探测器）捕捉影像数据。所需电压电流条件均由计算机自动控制，在一定时间（20～40 秒）内围绕患者头部旋转 360°，采集整个扫描区域的容积图像数据，然后通过相应的锥形束重建算法完成图像多层面重建，并经计算机重新成像处理。在获得原始影像数据后，可选用 0.125mm 层厚，通过计算机运行程序在任何方向上进行重建，还可经计算机后处理三维图像，且在扫描范围内可以得到任何方向、任何层面以及任意间隔的截面图（图 4-26）。而普通 CT 扫描时采用扇形的 X 线束成像记录在呈 360° 排列于患者周围的固态线性接收器上，其 X 线源是一种高输出的旋转阳极发生器，设备需要在持续的螺旋形运动中连续拍摄一系列的轴平面图像，然后运用计算机后处理软件，进行三维重建（图 4-27）。





公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

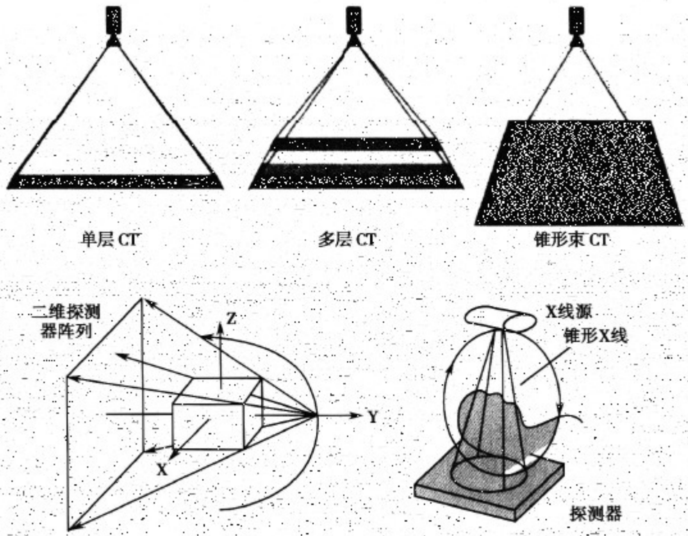


图 4-26　锥形束 CT 扫描示意图

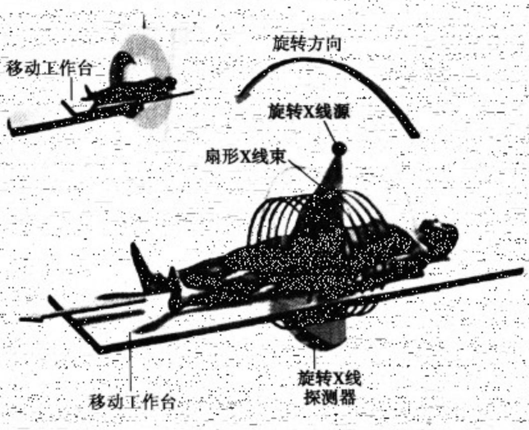


图 4-27　螺旋 CT 扫描示意图

（二）CBCT 成像特点

CBCT 成像技术能生成牙齿和周边组织的三维图像，与常规医用计算机断层扫描 CT 相比较有效放射剂量低，图像清晰分辨率高，在一些口腔科专业，使用 CBCT 断层扫描成像受益匪浅（图 4-28）。与其他影像检查方法相比，CBCT 成像有如下优点：

1. 射线范围局限，有效放射剂量减小　CBCT 的有效放射剂量可以降低至 50mSV，约与全口系列根尖片的总放射剂量范围等同，大大小于医用 CT（相当于传统 CT 射线量的 1/40）。CBCT 的曝光时间为仅为 10～40 秒，三维重建所需时间通常也少于 3 分钟，拍摄成本也相对较低，但软组织的分辨率低。

2. 高分辨率图像　CBCT 采用各向同性，可以产生亚毫米的分辨率（低至 0.125mm），明显提高了图像的分辨率和精确度。研究表明 CBCT 显示牙及牙周组织等细小解剖结构的能力高于多层螺旋 CT，更适合口腔临床的需要（图 4-29）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

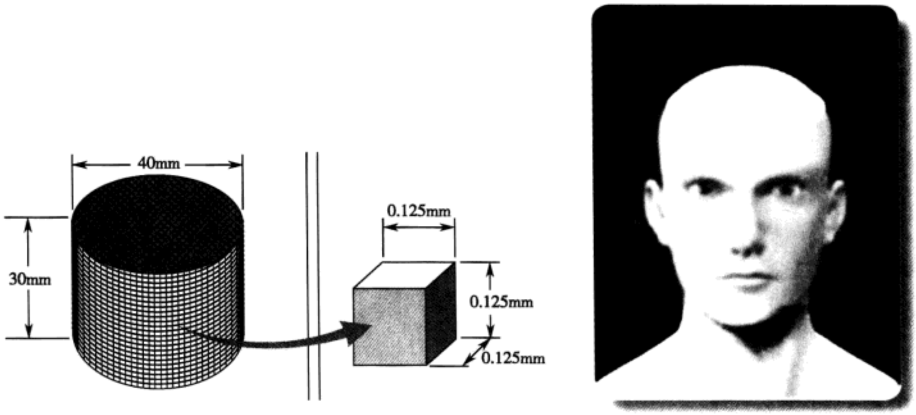


图 4-28　CBCT 体素示意图，即边长 0.125mm 的小正方体（各向同性）

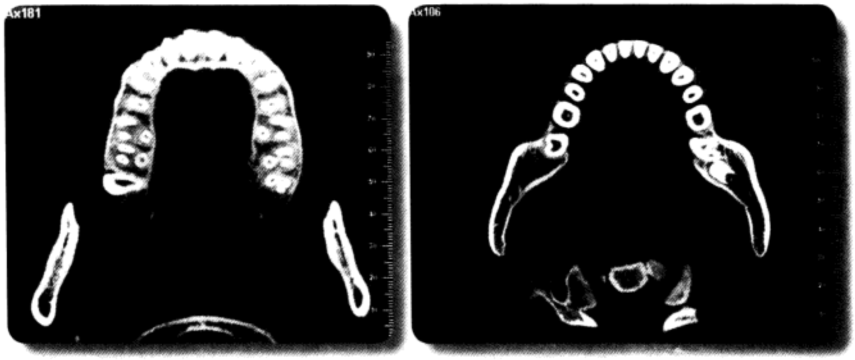
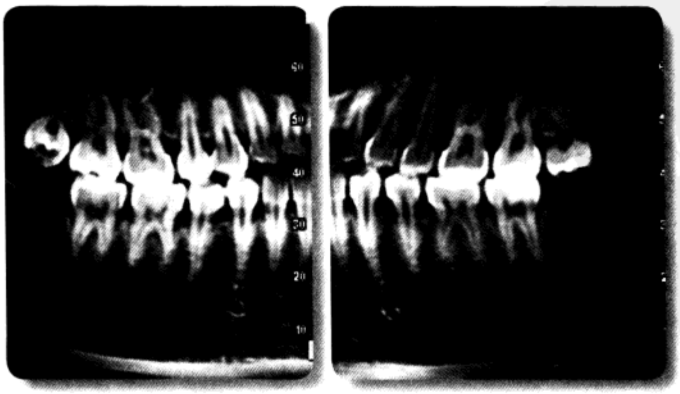


图 4-29　轴位上、下颌牙齿髓腔解剖形态

3. 多角度多平面显示　CBCT 多平面容积重建技术可准确判断根管的融合和分支情况，从颊舌向、近远中向、冠根向等多层面的了解牙髓腔的解剖结构及牙根的形态，提高了根管治疗的成功率。计算机系统可以直接对原始数据进行重建，获得感兴趣区的轴位、冠状位、矢状位的三维影像，其影像分辨率高，对比度好（图 4-30）。



公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



图 4-30 多平面容积重建技术（MPR）示上下颌矢、冠状位牙髓腔解剖结构

4. 伪影小 CT 扫描时，高密度金属物及根管充填物引起射线衰减计算的错误，形成重建图像上放射或条带状的，与正常组织影像重叠，从而影响诊断。伪影抑制程序和增加的投影数目使 CBCT 图像产生的伪影程度较轻，利于牙齿和颌骨再次重建的观察（图 4-31）。

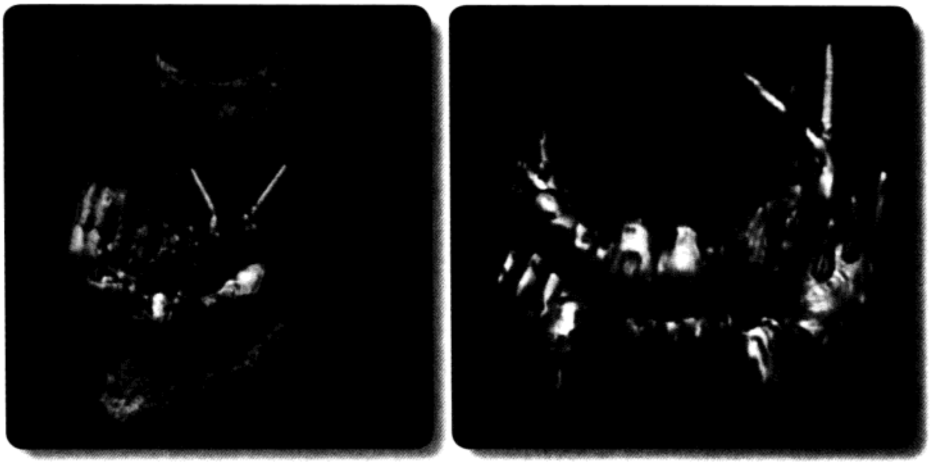


图 4-31 CBCT 低放射剂量减少了由于金属存在而产生的伪影

5. 操控简便 CBCT 所有的软件都采用各种先进的实时图像显示技术，临床医师可在个人计算机上轻松地操作软件系统，从容积数据中生成用于临床的任意断面图像，独立完成各种常规及复杂的三维图像重建。

（三）牙髓腔的 CBCT 影像

1. 切牙的髓腔形态

（1）上颌切牙的髓腔形态：①唇舌切面观：髓腔呈梭形，颈缘处最宽大；②近远中切面观：髓腔呈长三角形，髓室顶处最宽大，髓角接近牙冠中 1/3 处；③横切面观：呈圆三角形，唇侧略宽于舌侧（图 4-32）。

（2）下颌切牙的髓腔形态：①唇舌切面观：近颈缘处最宽大，多为单管；②近远中切面观：髓腔呈狭长的三角形；③横切面观：髓腔呈椭圆形，唇舌径大于近远中径（图 4-33）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

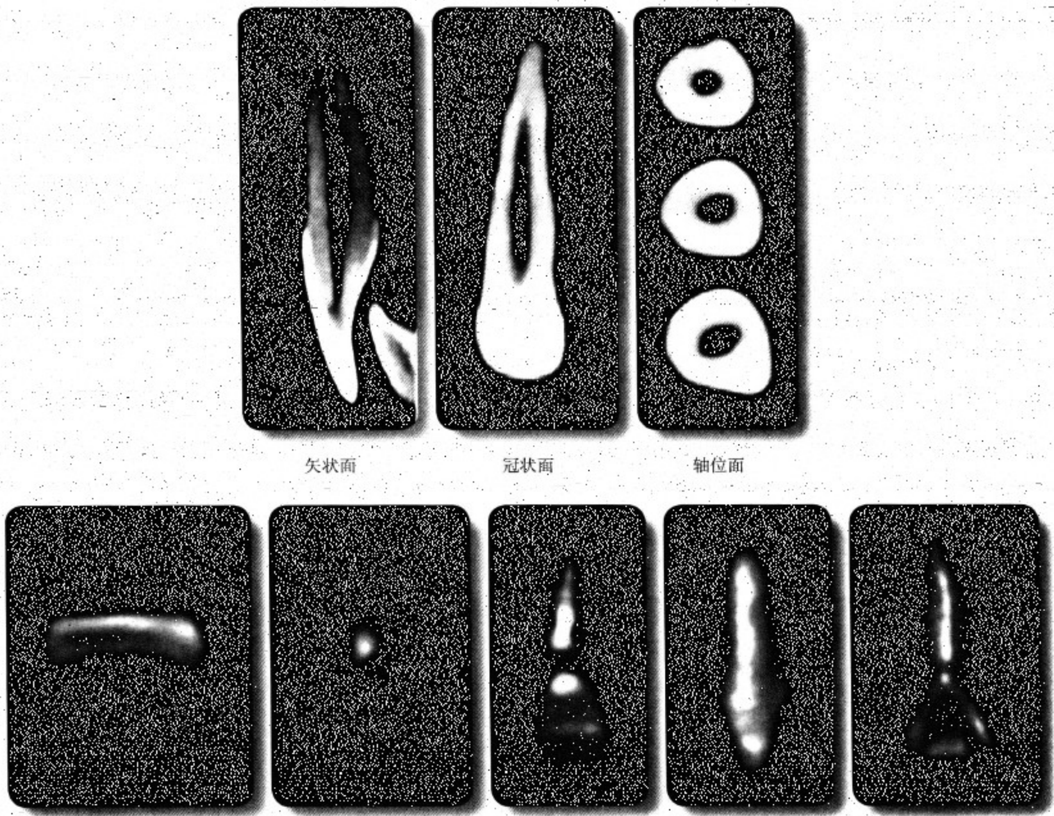
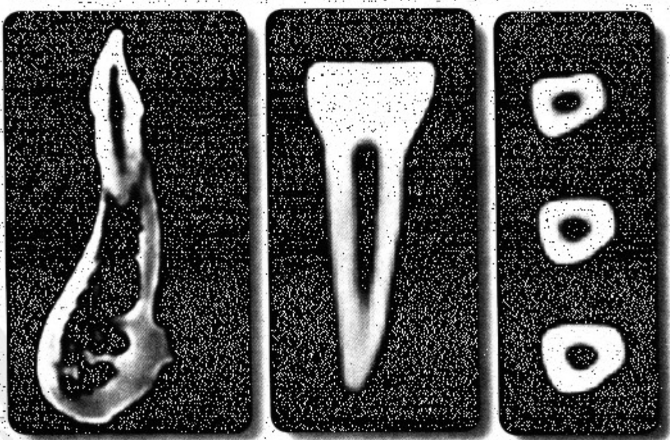


图 4-32　CBCT VR 及 MPR 重建上颌切牙牙体外形及髓腔形态



公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

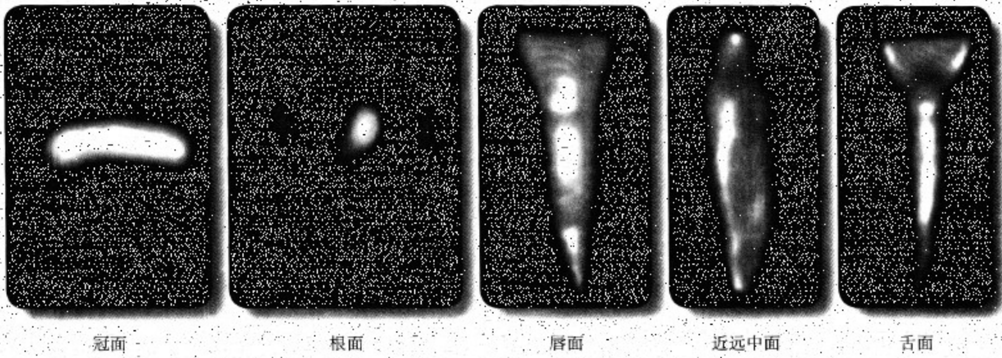


图 4-33　CBCT VR 及 MPR 重建下颌切牙牙体外形及髓腔形态

2. 尖牙的髓腔形态

（1）上颌尖牙的髓腔形态：①唇舌切面观：髓腔向切端方向缩窄，根管形态与牙根外形一致；②近远中切面观：髓腔呈长三角形，髓室顶位于近冠中 1/3 处；③横切面观：髓腔宽大，根管位于中央，唇舌径大于近远中径（图 4–34）。

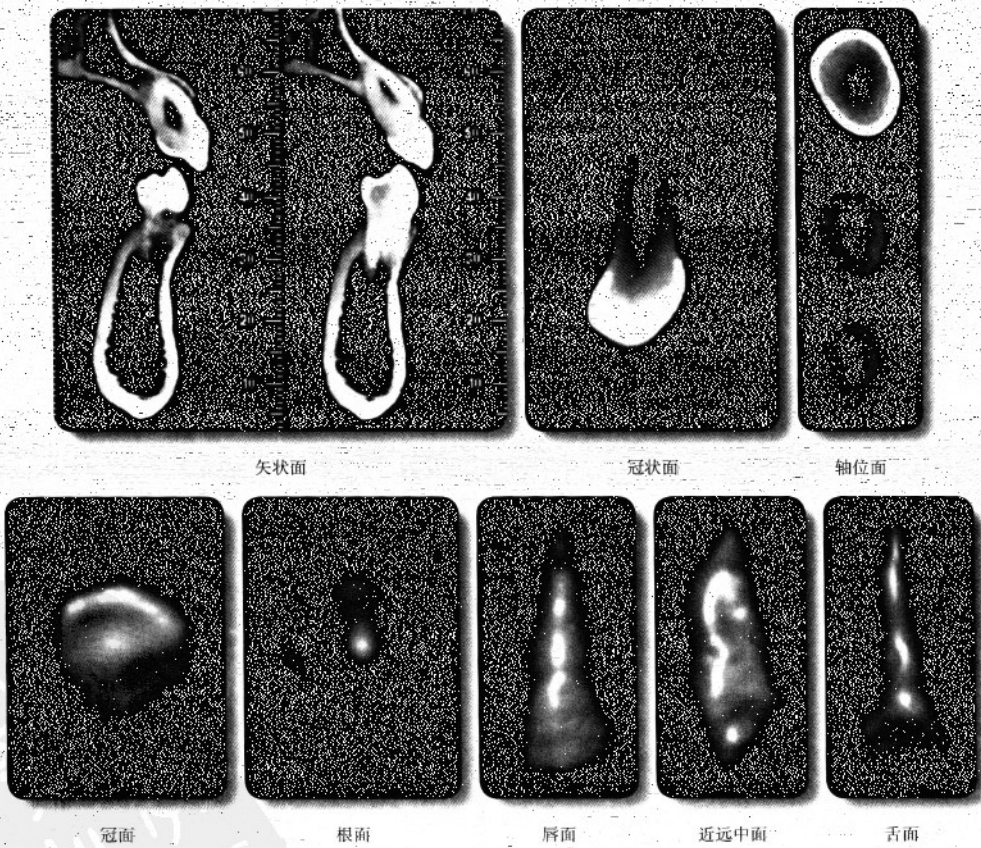


图 4–34　CBCT VR 及 MPR 重建上颌尖牙牙体外形及髓腔形态

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

（2）下颌尖牙髓腔形态：①唇舌切面观：髓腔呈纺锤形，髓室顶窄而尖圆，位于近牙冠中 1/3 处；②近远中切面观：髓腔呈长三角形，根管近根尖 1/3 处有时弯向远中；③横切面观：髓腔较大，根管位于中央，唇舌径大于近远中径（图 4–35）。

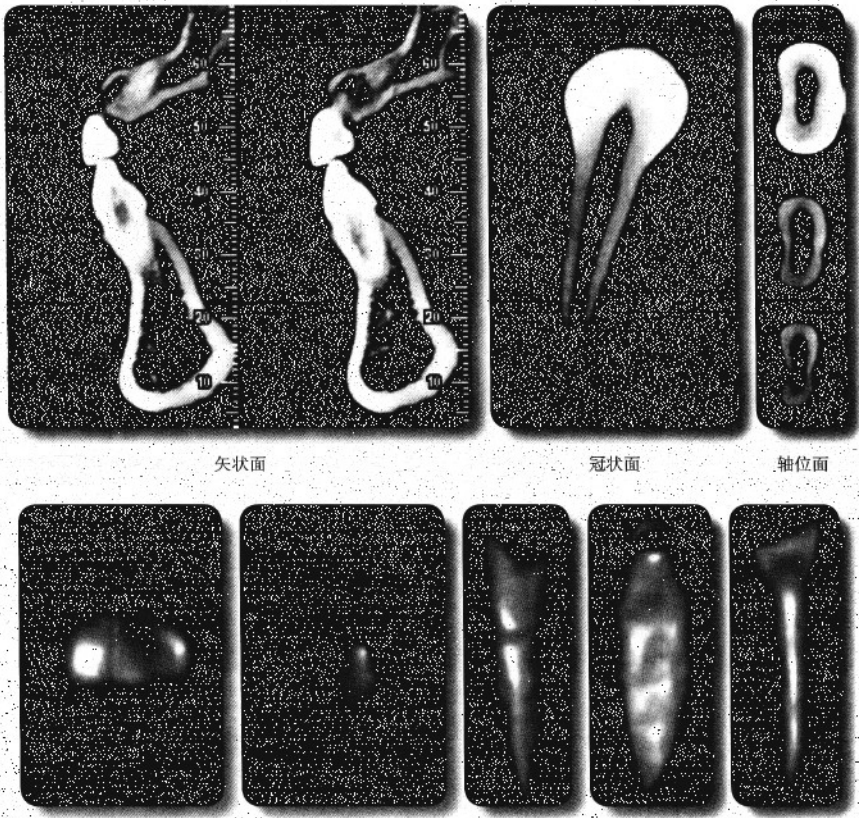


图 4–35　CBCT VR 及 MPR 重建下颌尖牙牙体外形及髓腔形态

3. 上颌前磨牙的髓腔形态　上颌前磨牙的髓室形态与牙冠外形相似，髓室颊舌径大于近远中径；髓室顶中部向根方凸入髓腔，最凸处与颈缘平齐，颊、舌侧髓角伸向对应的牙尖。上颌第一前磨牙与上颌第二前磨牙的髓腔形态相似，体积大小略有差异；根管类型也有所不同（图 4–36）。

4. 下颌前磨牙的髓腔形态

（1）下颌第一前磨牙髓腔形态：①颊舌切面观：颊侧髓角高而尖，根管的颊舌径大于近远中径；②近远中切面观：髓腔呈窄长三角形，髓室顶于近冠中 1/3 处最宽；③横切面观：髓腔呈卵圆形，根管位于中央（图 4–37）。

（2）下颌第二前磨牙髓腔形态：①颊舌切面观：颊髓角高而尖，髓腔在根颈 1/3 与根中 1/3 交界处缩小成管；②近远中切面观：髓室与根管形态似尖牙，呈狭窄、细长形，髓室顶于近冠中 1/3 处最宽；③横切面观：髓腔呈椭圆形，根管位于中央，颊舌径明显大于近远中径（图 4–38）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

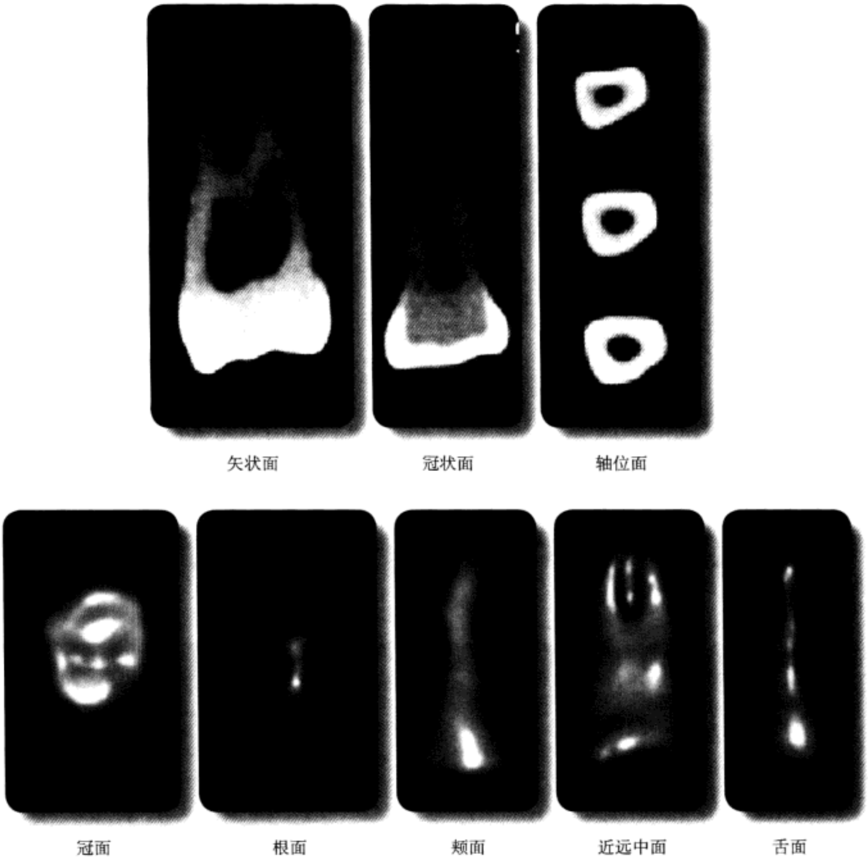
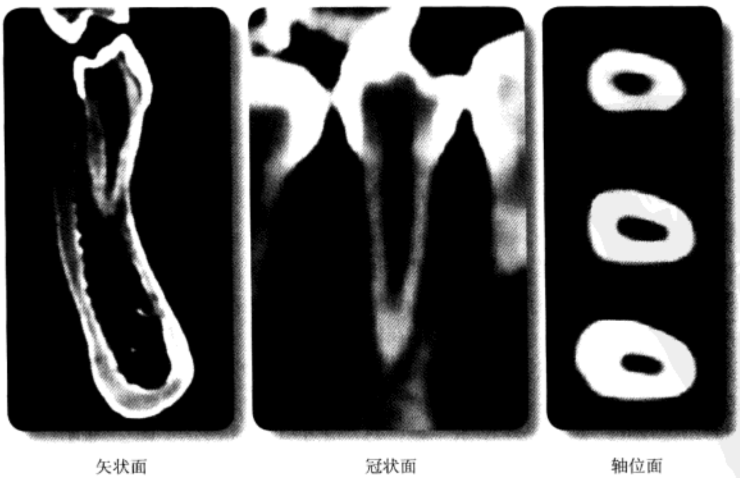


图 4-36 CBCT VR 及 MPR 重建上颌前磨牙牙体外形及髓腔形态



公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

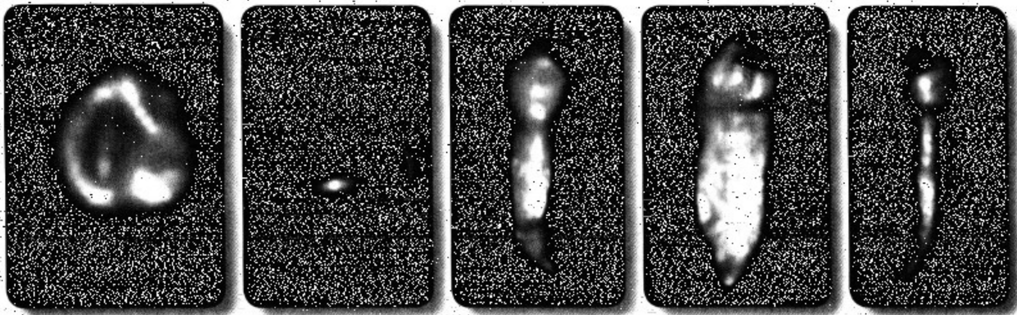


图 4-37　CBCT VR 及 MPR 重建下颌第一前磨牙牙体外形及髓腔形态

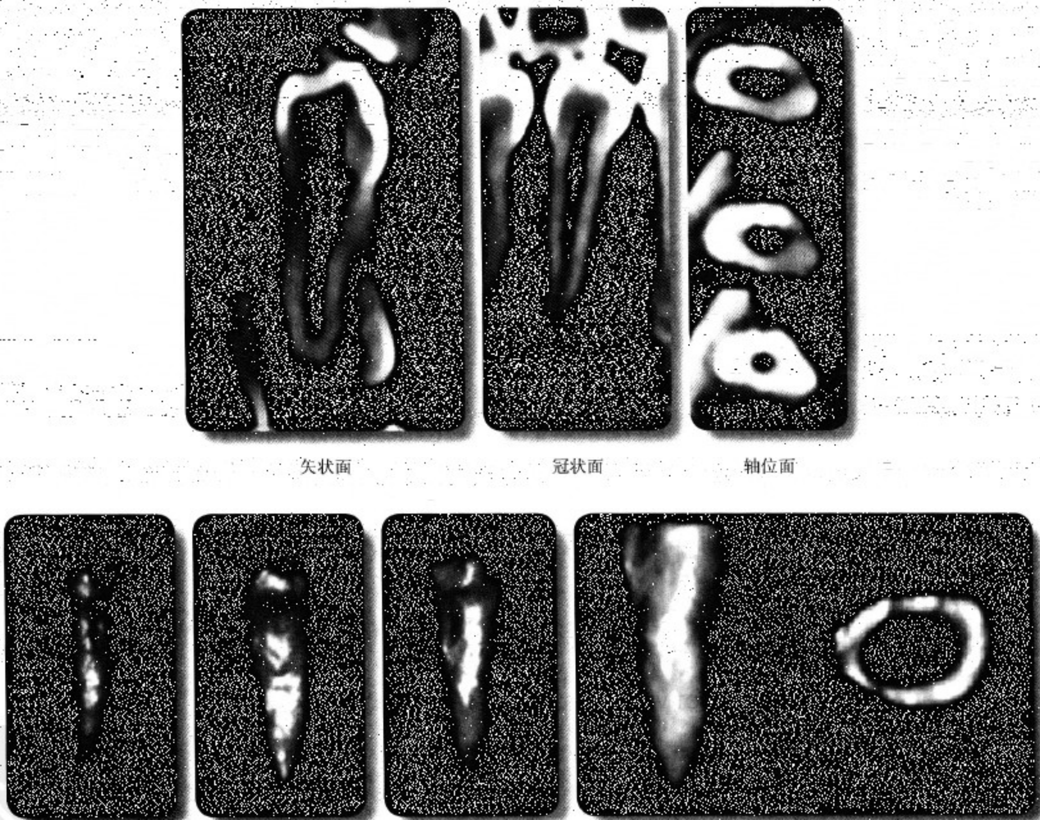


图 4-38　CBCT VR 及 MPR 重建下颌第二前磨牙牙体外形及髓腔形态

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

5. 上颌磨牙的髓腔形态

（1）上颌第一磨牙髓腔形态：①颊舌切面观：髓室呈立方体形，髓室顶最凹处与颈缘平齐。②近远中切面观：髓室顶上近中颊髓角和近舌髓角较高，两者均接近牙冠中 1/3；远颊髓角和远舌髓角较低，均接近牙冠颈 1/3 处。③横切面观：髓腔呈四边形或三角形，颊舌径明显大于近远中径，髓室底上一般有 3～4 个根管口（图 4–39）。

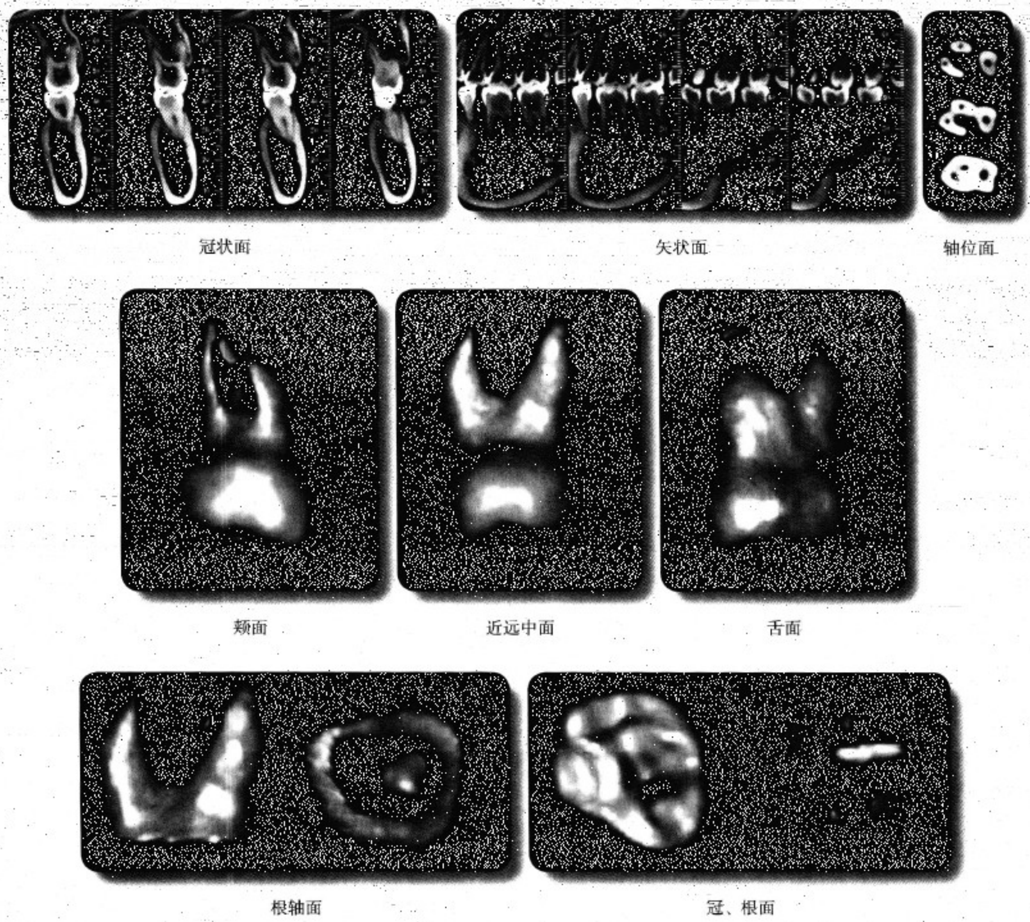


图 4–39　CBCT VR 及 MPR 重建上颌第一磨牙牙体外形及髓腔形态

（2）上颌第二磨牙髓腔形态取决于牙冠形态特征，一般常见有三种类型。第一型：牙冠外形与第一磨牙相似，但远中舌尖较小，髓腔形态与上颌第一磨牙相似。第二型：近中舌尖与远中舌尖靠拢，远中舌尖很小。髓室外形与牙冠外形相似，根管外形与第一型相似。第三型：近中舌尖大而远中舌尖消失，髓室外形与牙冠外形相似，根管外形与第一型相似（图 4–40）。

6. 下颌磨牙的髓腔及根管成像

（1）下颌第一磨牙髓腔形态：①颊舌切面观：髓室近中颊舌径大于远中颊舌径，舌侧髓角高于颊侧髓角；②近远中切面观：髓室的近远中径大于颊舌径，髓室顶及髓室底均凸向髓室；③横切面观：髓室

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

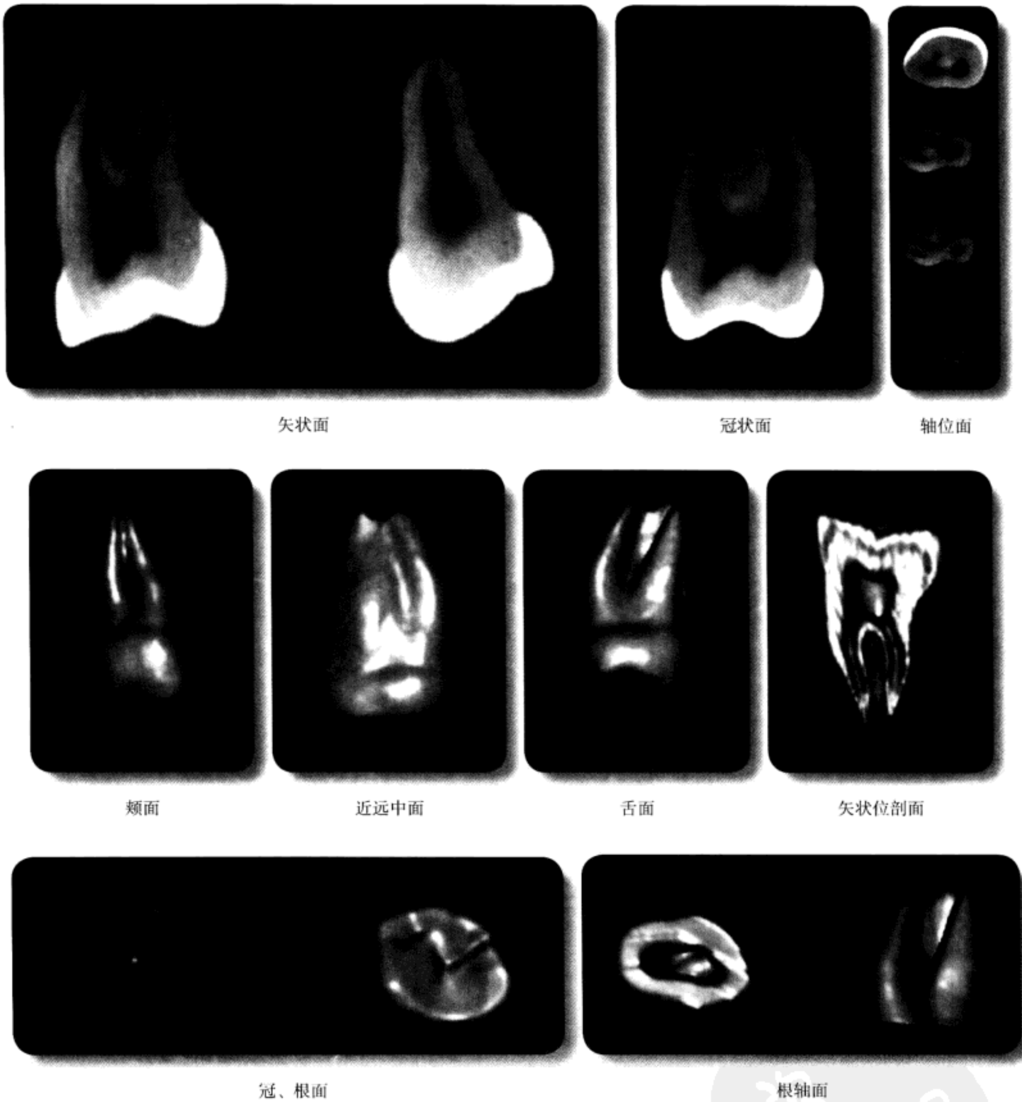


图 4-40　CBCT VR 及 MPR 重建上颌第二磨牙牙体外形及髓腔形态

底上可见 3、4 个或更多的根管口（图 4-41）。

（2）下颌第二磨牙髓室的外形依牙冠外形而定，其特点与下颌第一磨牙类似，但略小；牙根外形有两根、三根、融合根等多种形态，从而其内穿行根管也出现多种类型，C 型根管的出现几率较大（图 4-42）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

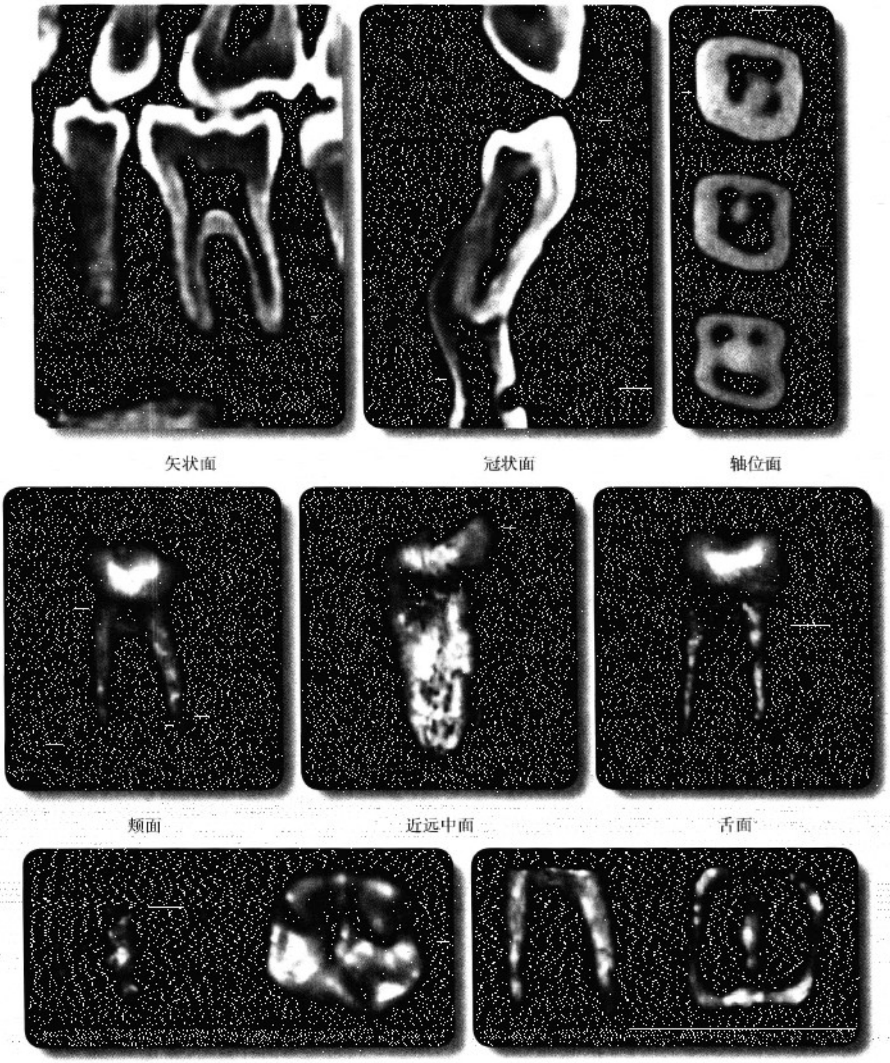
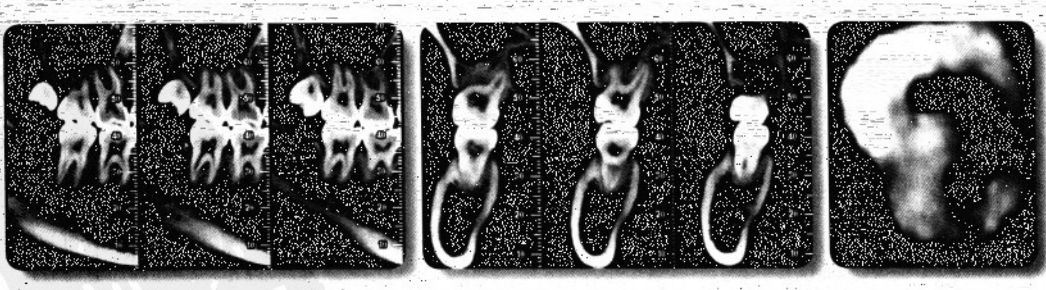
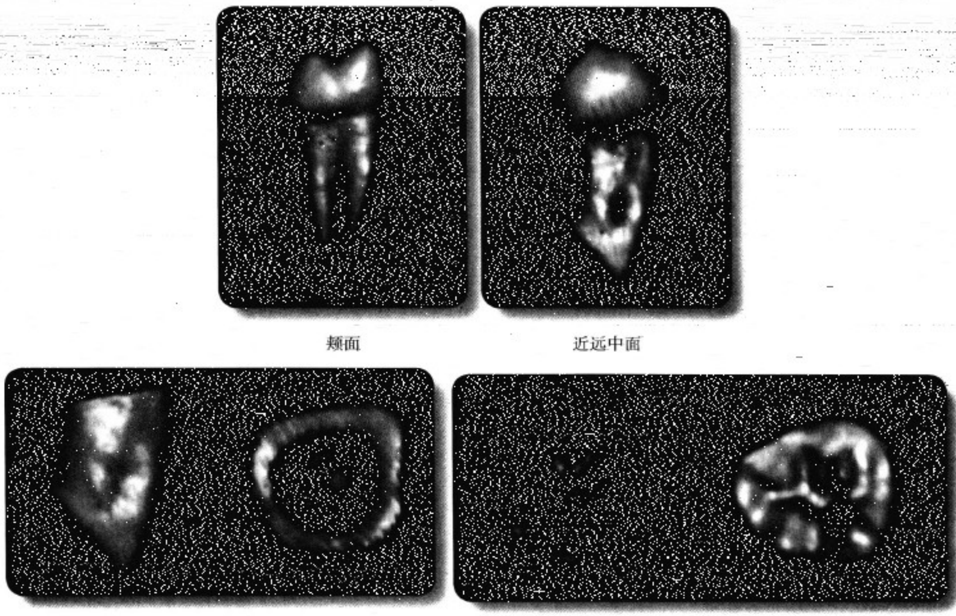


图 4-41　CBCT VR 及 MPR 重建下颌第一磨牙牙体外形及髓腔形态



公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



颊面　近远中面

根轴面　冠、根面

图 4-42　CBCT VR 及 MPR 重建下颌第二磨牙牙体形态及髓腔形态

（四）在牙体牙髓病诊治中的应用

传统的 X 线片无法显示早期的病变及牙槽骨吸收的方式和程度，且只能观察部分邻面的骨质破坏情况。用 X 线片检查主要显示牙齿近远中的牙槽骨破坏情况，颊舌侧骨板与牙齿及骨组织重叠因而对发生于颊舌面的骨质破坏观察效果不佳。另外，根尖位置的改变、根尖周围骨质的密度、X 线角度以及 X 线影像的清晰度，也会影响 X 线影像的诊断结果。研究表明 CBCT 可以准确观察根尖破坏特征以及其他硬组织情况，清楚显示牙髓腔病变的性质、程度、范围，有助于治疗方案的制订及 RCT 治疗的评定。

由于根管系统的结构复杂多变，临床根管治疗过程中常会遇到诸如前牙变异根管、磨牙牙根及根管系统变异等。CBCT 克服了 X 线片的二维重叠影像等缺点，能够三维立体清晰显示上下颌牙齿的解剖结构及根管的形态和走行，同时可以把颊舌向、近远中向以及冠根向直观的显示出来（图 4-43），为根管治疗提供可靠的影像学资料。

1. 解剖形态学观察　CBCT 图像可了解牙髓组织的解剖结构，特别是在疑难复杂根管治疗前及术中，可以随时调用近远中向、冠根向、颊舌向的三维图像，从不同的方向及断层对感兴趣区域进行切片分析，能够清晰的了解根管的形态帮助根管治疗，使治疗更彻底；根管治疗后还可以用来监测根管治疗效果，减少了漏诊（图 4-44）。

2. 牙根内吸收情况　由于根尖片只能显示相互重叠的二维影像，因此，常不能清晰的显示吸收病变，难以准确评估牙根内吸收的严重程度。CBCT 三维立体的图像可以准确的显示根外吸收病损的位置、形状、大小、破坏程度及周围牙槽骨的吸收状况，并能准确评估牙根内吸收的严重程度，有助于确定牙根吸收的治疗计划，提高患牙保存率（图 4-45）。

3. 正确判断根管数目　根管数目的正确判断是影响根管治疗成功的主要因素之一。CBCT 技术可准确判断根管的融合和分支情况，从而提高根管治疗的成功率。CBCT 技术运用三维重建功能使临床医师在根管治疗术前及术中随时调用和调整各个角度及层面观察每个感兴趣区域，了解根管的形态、数目、走向、根尖段的根管是否融合等，是指导复杂根管系统牙齿治疗的重要的影像学手段（图 4-46）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

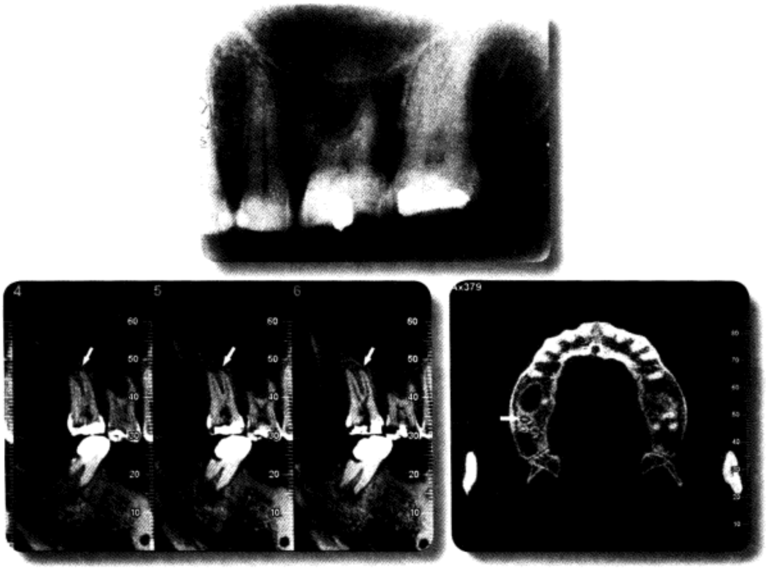
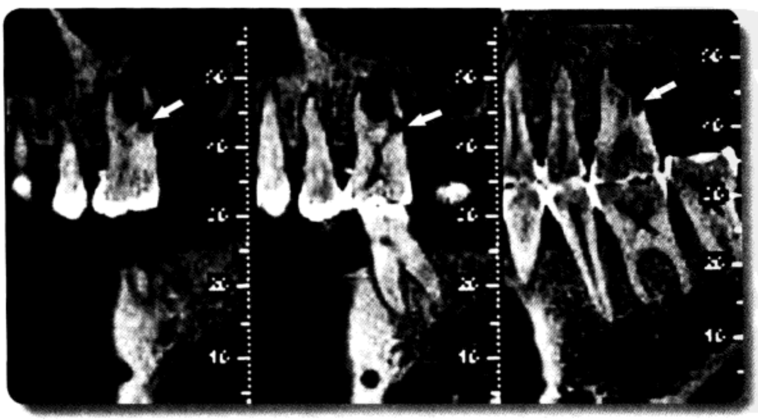


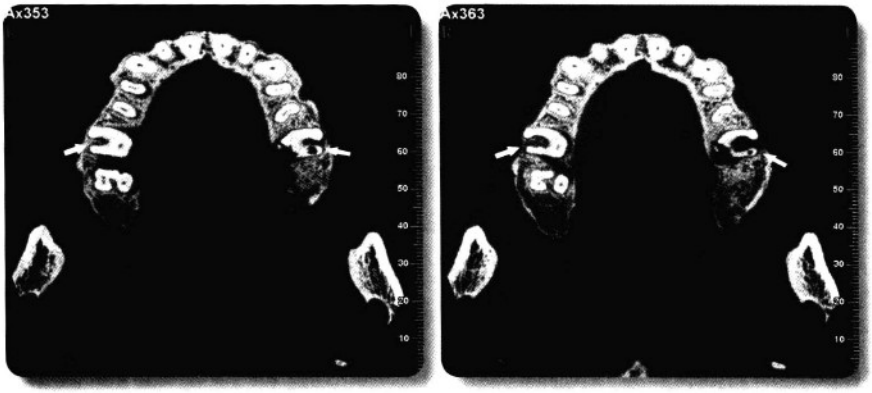
图 4-43　患者自诉左上第二磨牙疼痛，拍摄牙片未发现异常，经 CBCT 进一步检查发现左上第二磨牙近中根尖暗影



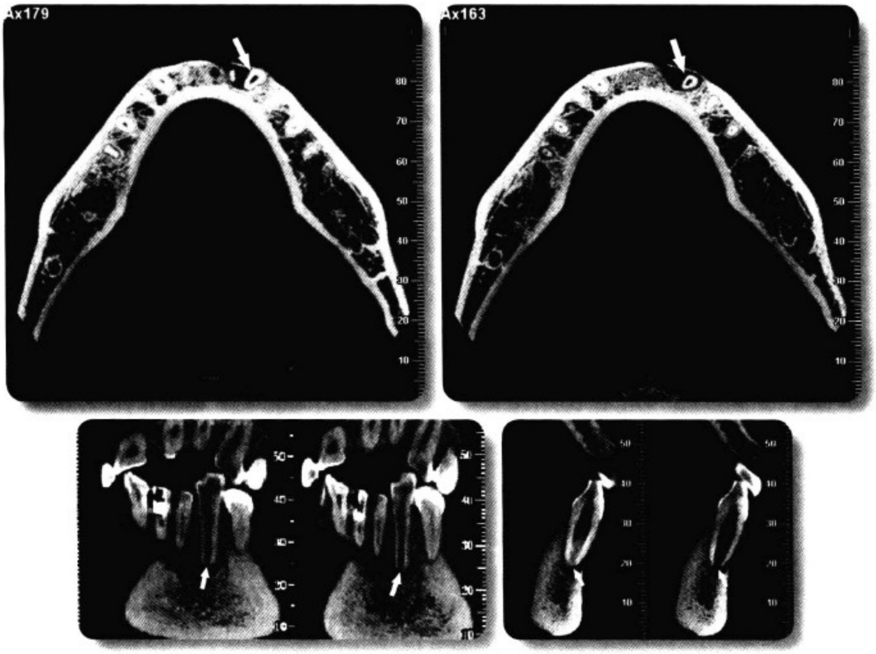
图 4-44　CBCT 轴位图像清晰显示左上颌第一磨牙的 5 个根管，其中根管侧支未充填

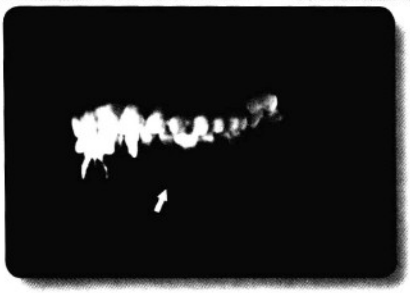


公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）

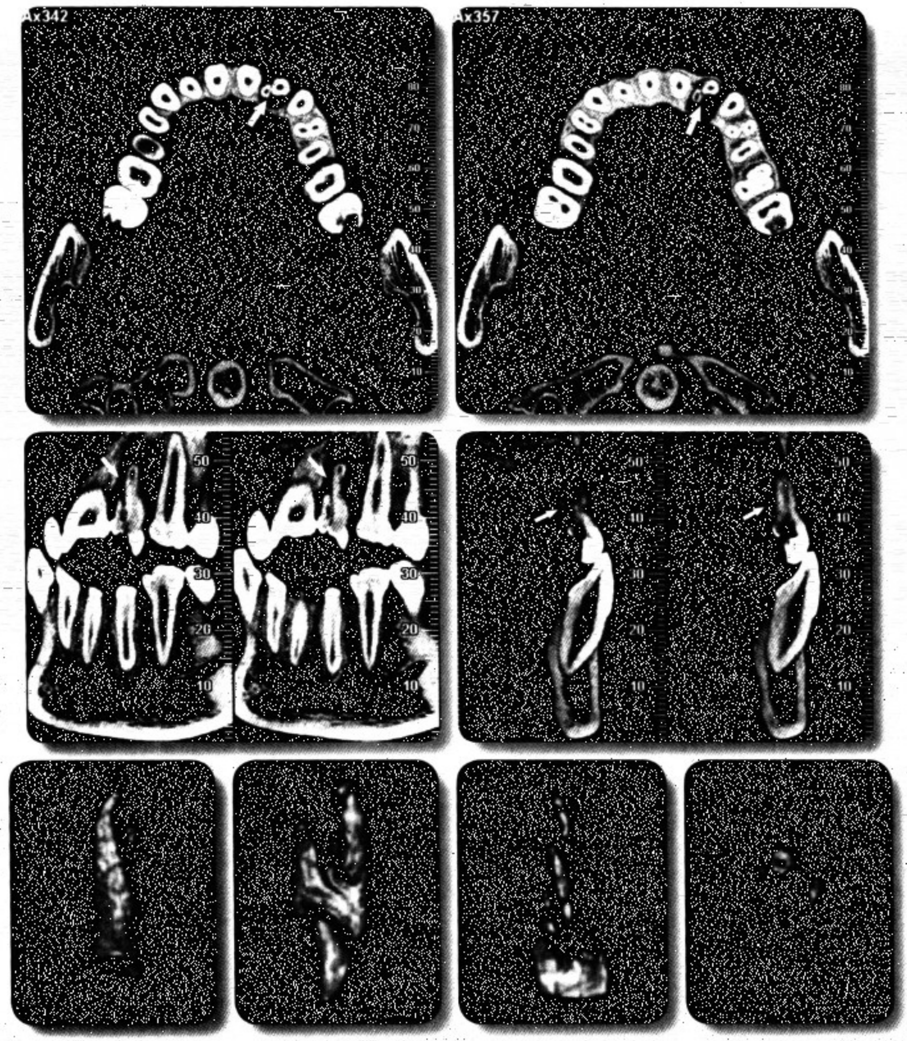




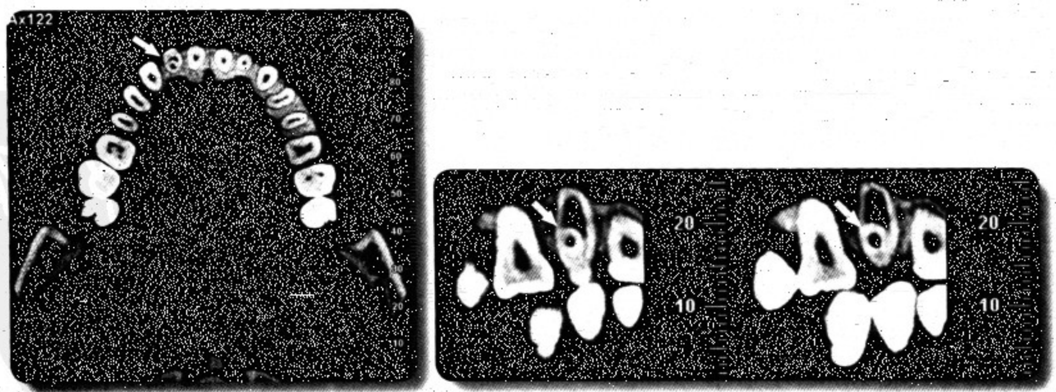
（B）

图 4-45　（A）CBCT 轴位及 MPR 重建示上颌左、右第一磨牙牛牙症，其中左侧上颌第一磨牙牙根内吸收伴颊侧根折　（B）CBCT 轴位、MPR 及 MIP 重建示下颌尖牙牙根外及牙根内吸收

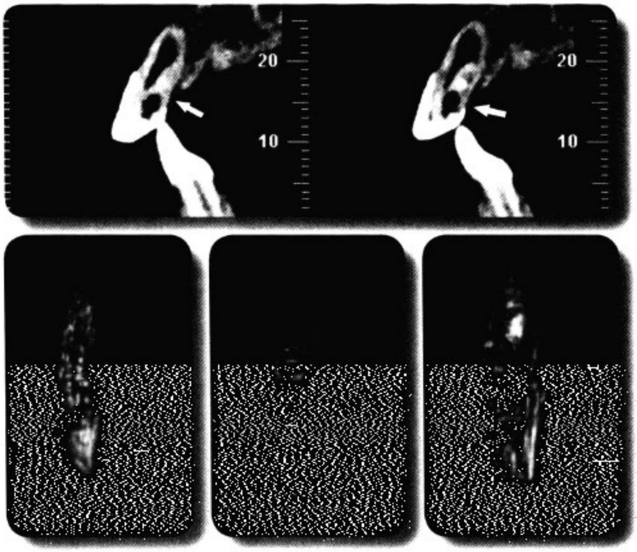
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



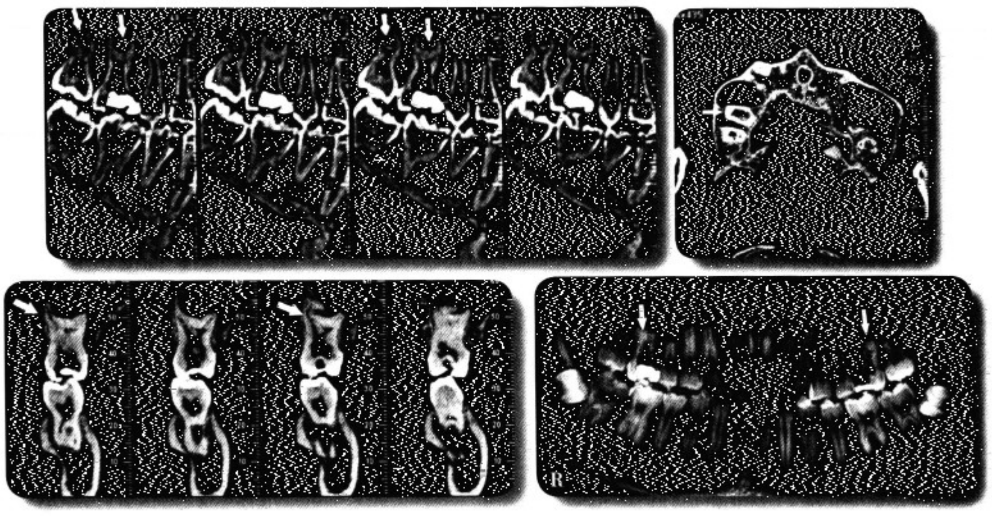
（A）



公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（B）



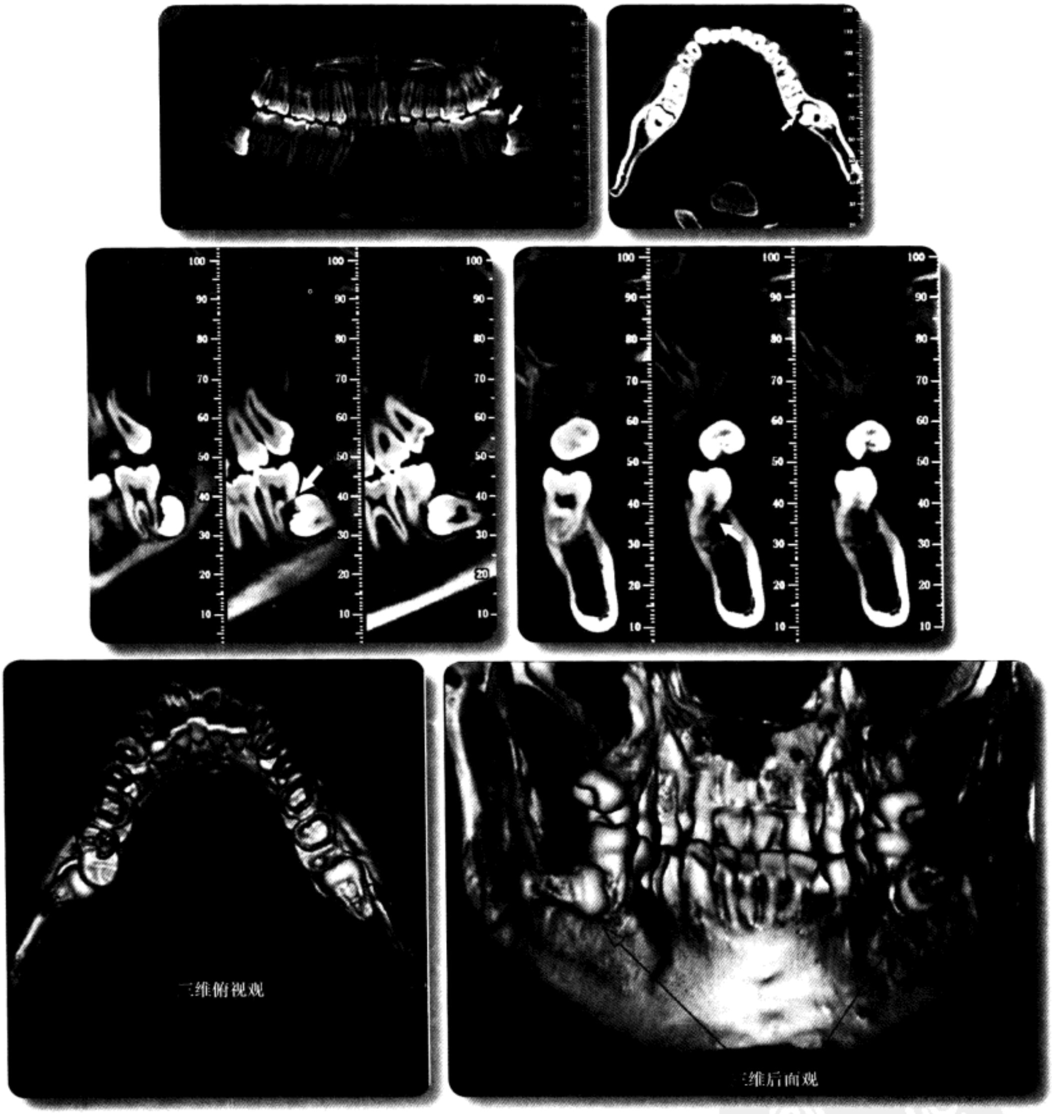
（C）

图 4–46 （A）CBCT 轴位、VR 及 MPR 重建冠、矢状位图像清晰显示上颌侧切牙双根双管 （B）CBCT 轴位、VR 及 MPR 重建冠、矢状位图像清晰显示上颌侧切牙变异根管 （C）CBCT 轴位、CPR（曲面重建）及 MPR 重建冠、矢状位图像清晰显示上颌第一、第二磨牙（牛牙症）髓腔宽大，髓室延长呈长方形，根分叉移向根尖方向，无明显颈部狭窄区，牙根短小

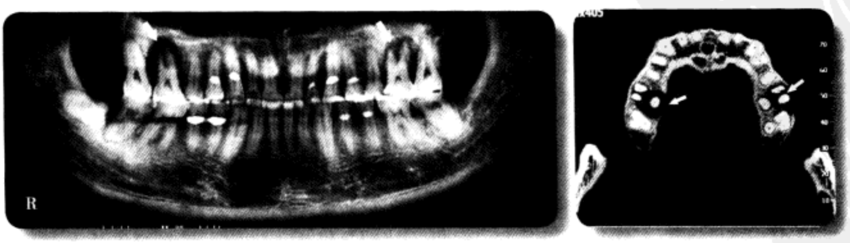
4. 牙根外吸收　牙根外吸收根尖片有时会误诊为根管内吸收，通过 CBCT 可以帮助鉴别，在冠状面和横断面清楚地记录到牙根外吸收影像，明确诊断（图 4–47）。

5. 诊断牙根折断或纵裂　在很多情况下，根折（特别是纵折）一般不易在根尖片上清楚显示，只表现为患根周围的牙周膜增宽，或出现牙槽骨吸收，而看不到明显的根折线。由于投影角度可影响 X 线片

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



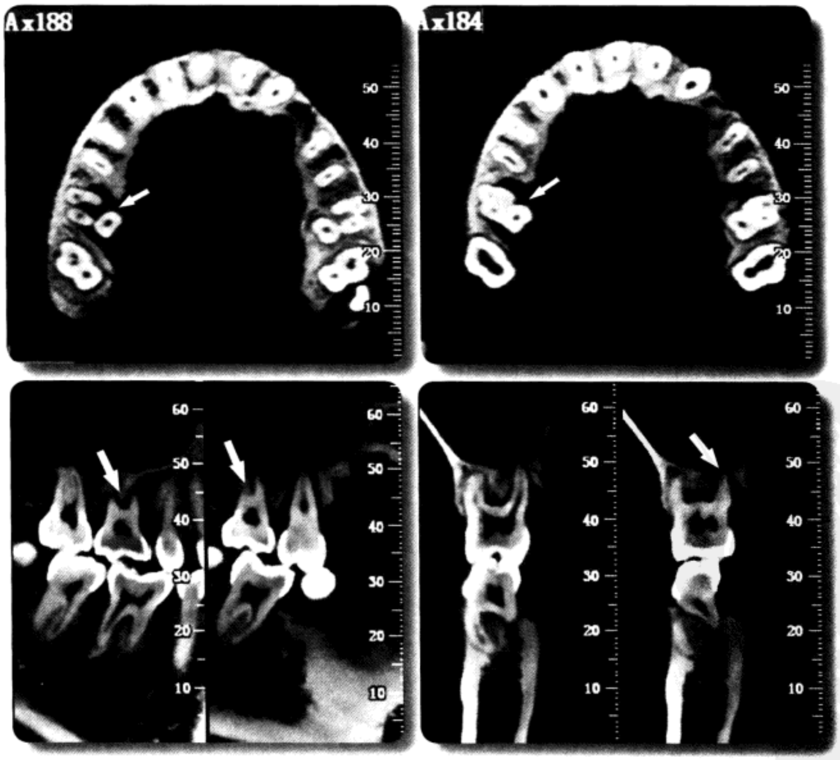
（A）



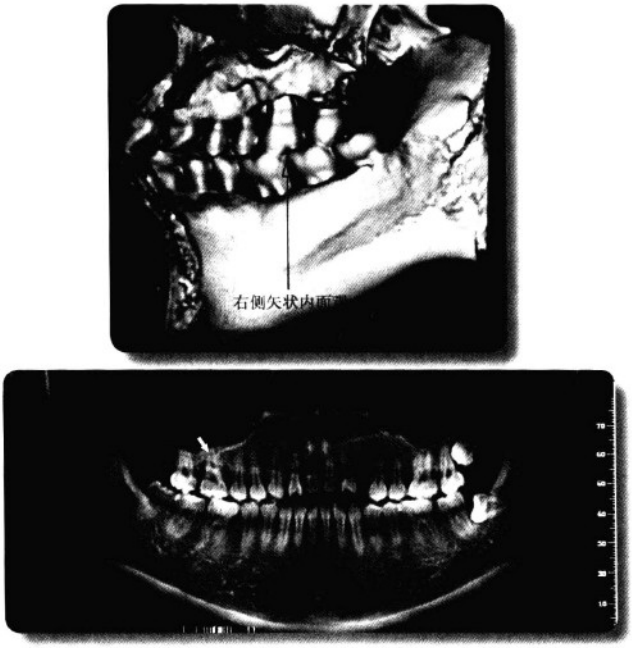
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（B）



公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（C）

图 4–47　（A）CBCT 轴位、VR、CPR（曲面重建）及 MPR 重建冠、矢状位图像清晰显示阻生牙压迫所致牙根外吸收
（B）CBCT 轴位、CPR（曲面重建）及 MPR 重建冠、矢状位图像清晰显示根尖周炎致牙根外吸收
（C）CBCT 轴位、VR、CPR（曲面重建）及 MPR 重建冠、矢状位图像清晰显示牙周病致牙根外吸收

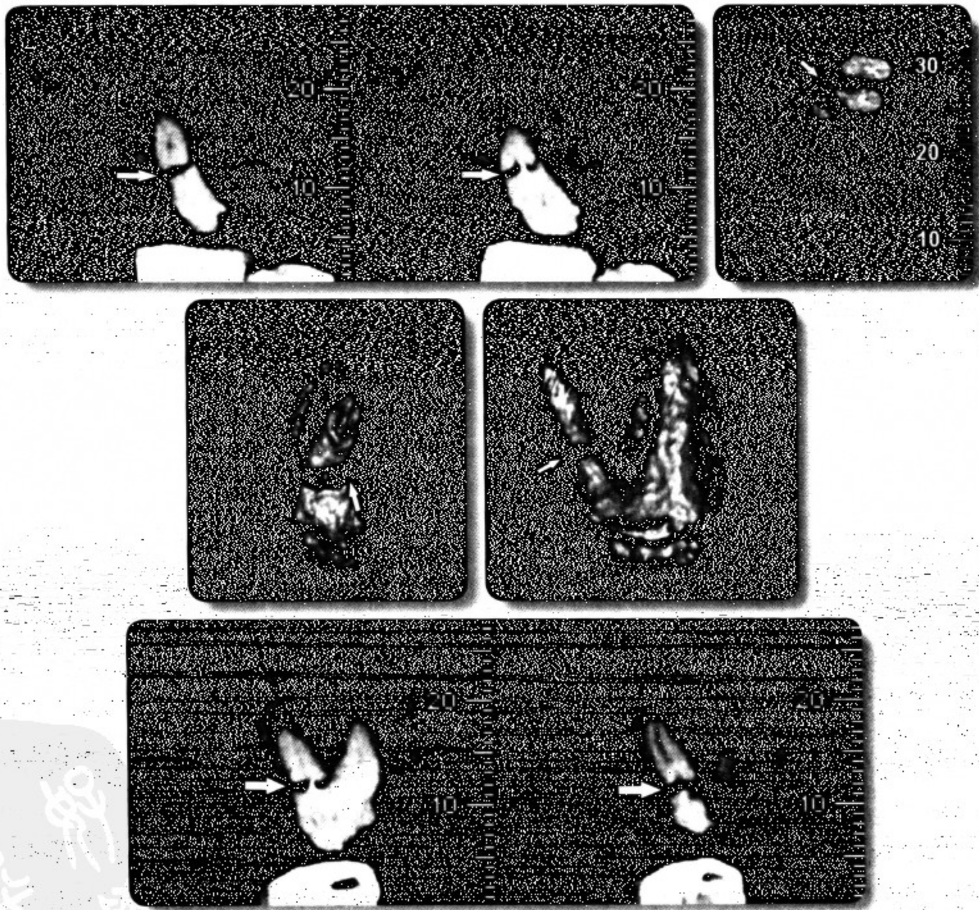
的检出率，加上重叠的解剖关系干扰了读片医师的判断能力，因而早期患者经常存在漏诊。而 CBCT 则可以通过矢状面（近远中向）、冠状面（颊舌向）及水平面（冠根向）清晰地显示出根折线，同时清晰地显示出根折位置及类型，还可以用三维立体的图像进行直观的分析以明确诊断。CBCT 对于检测根折是一个极好的选择（图 4–48）。



公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

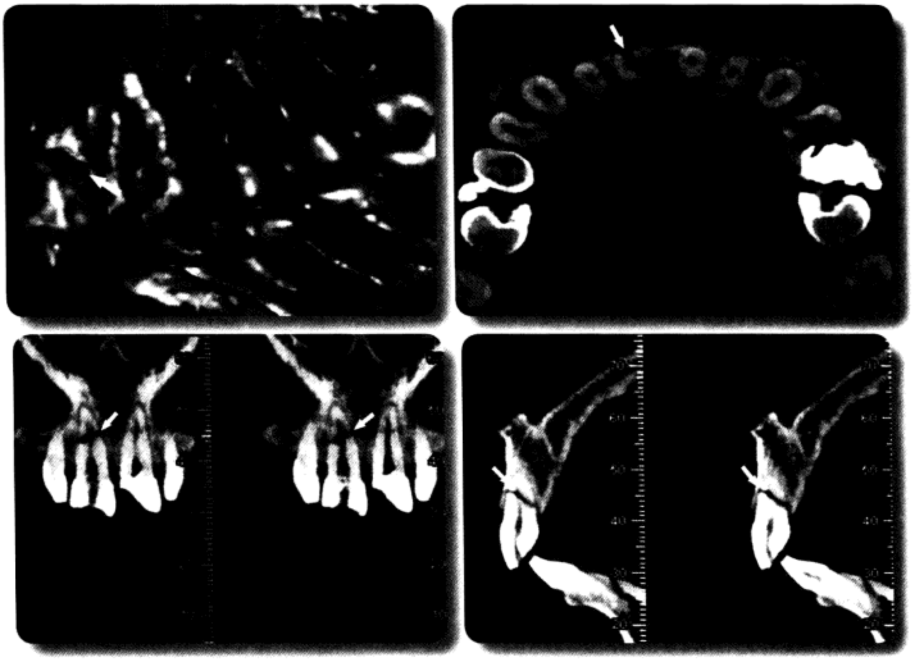


（A）



（B）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（C）

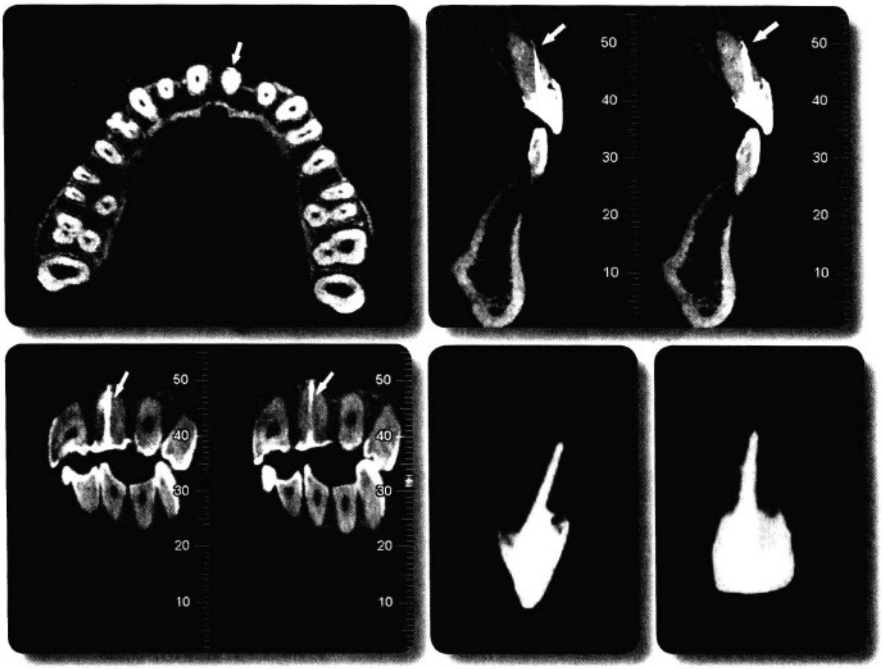
图 4-48　（A）CBCT 轴位及 MPR 重建冠、矢状位图像清晰显示根折线　（B）CBCT 轴位、VR 及 MPR 重建冠、矢状位图像清晰显示根折线　（C）CBCT 轴位、VR 及 MPR 重建冠、矢状位图像显示右上颌中切牙根折

6. 诊断根管侧壁穿孔　CBCT 可用于诊断根管侧壁穿孔，我们曾发现 1 例根尖片显示根管充填良好，未见侧壁穿孔，牙胶尖定位显示窦道来源于牙根侧方，CBCT 图像矢状位显示根管侧壁穿孔明显，由于术前诊断明确，穿孔修补术后，疗效良好（图 4-49）。

7. 诊断牙髓病治疗失败的原因　根管充填不严密、超充、遗漏根管、器械折断是牙体牙髓病治疗失败的主要原因。而普通口内 X 线摄片常因图像相互重叠，不能清晰显示牙根走向、细小根管弯曲程度，致使根管治疗后仍有症状。通过对根管治疗后仍有症状的牙髓病患者行 CBCT 检查，发现根管充填不严、超充，因严重超充造成继发性感染，器械折断于根管，牙根纵折，遗漏根管，均可明确病因（图 4-50）。

总之，通过 CBCT（矢状位、轴位、冠状位图像），医师可以对任意感兴趣区域进行不同角度和层面的解剖图像进行诊断分析。例如在根管治疗过程中可随时调用图像进行分析，了解其根管的形态、数目、走向、根尖段根管是否融合等，为临床的根管治疗提供了便利。当然，CBCT 也有一定的不足，不能观察到根管间的交通支，不能将根管根据其离开髓室底后的变化仔细分类，但其观察不同的牙齿扫描断层图像及根管系统等要明显优于 X 线牙片，对临床根管治疗过程中操作有较强的指导作用。我们认为利用锥形束 CT 图像是目前研究活体牙体牙髓、根管及牙根的一种较好方式，可以根据 CBCT 图像选择最佳治疗方案，以取得较好的治疗结果。CBCT 同时也为临床研究跟踪调查、评价提供了许多前所未有的信息。

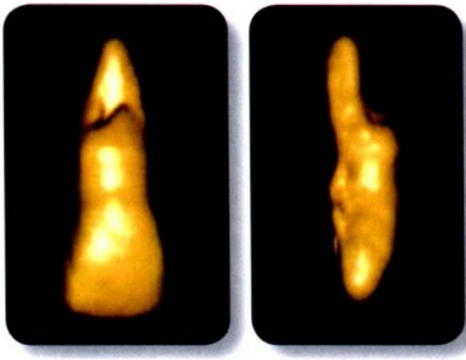
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）

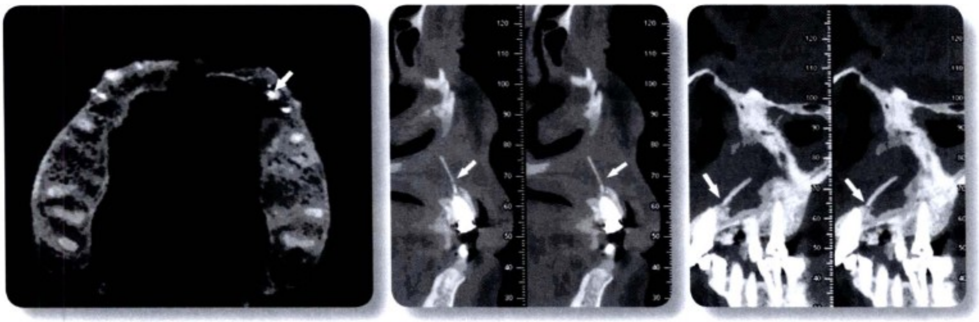


公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

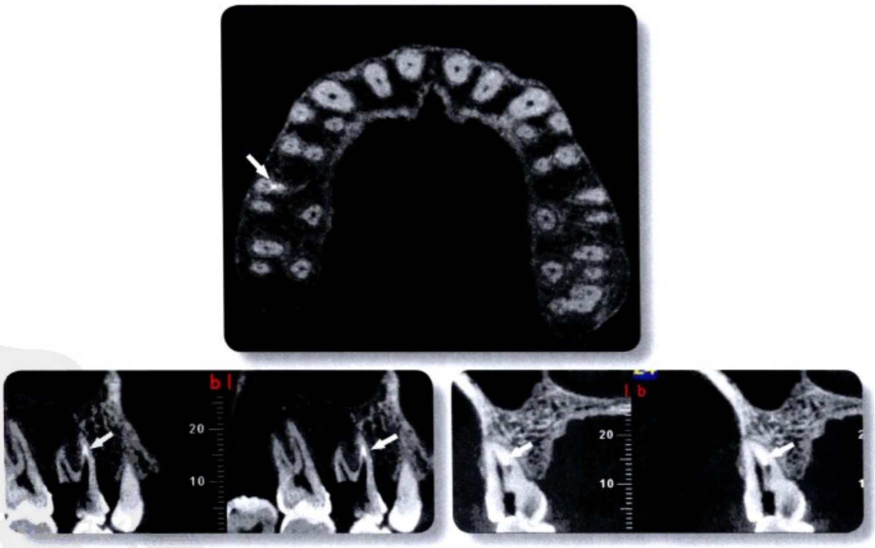


（B）

图 4-49　（A）CBCT 轴位、MPR 及 VR 重建上颌中切牙清晰显示根管侧壁穿孔　（B）CBCT 轴位、MPR 、VR 及 MIP 重建上颌侧切牙清晰显示根管侧壁穿孔伴根尖内吸收



（A）



（B）

图 4-50　（A）CBCT 轴位及 MIP 重建显示左侧中切牙后方舌侧骨板因左上尖牙超充引起继发感染　（B）CBCT 轴位及 MIP 重建显示右上颌第一磨牙近中根管有高密度异物（断针位于右上颌第一磨牙近中根管内）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

三、Micro-CT 技术

（一）Micro-CT 简介

空间分辨率达到 1～10μm 的医学 CT 称为 Micro-CT。细胞大小平均为 10～50μm，而细胞器约为 0.2～1μm，因此，Micro-CT 也被认为是能看见组织和细胞图像的 CT。Micro-CT 一般是基于传统 X 线源，并非同步离子加速器系统。其基本组成包括抗震基座、微焦点 X 线源（直径 1～10μm）、高速电子束扫描装置、钨酸镉集成电路 CCD 检测器、高电压 X 线球管、控制台、计算机等硬件和可视准直技术、高品质图像重建技术等相关技术。现有的 Micro-CT 系统设计有两种构型：离体成像（样本旋转）和在体成像（X 线系统旋转）。离体成像的 Micro-CT 系统可作为组织分析的一种经济有效的补充（或替代），样本的完整性不会影响随后的组织学分析，并且可互为补充。在体成像的 Micro-CT 系统多用于小型动物（如啮齿类）。虽然 Micro-CT 具有极佳的空间分辨率，但只应用于实验研究中，并不能替代临床中大视野的亚毫米级分辨率口腔科锥形束 CT。

（二）Micro-CT 在牙成像中的应用

Micro-CT 作为一种非侵入性的影像学检测和分析技术，其分辨率可达微米水平，能对小型样本重建出直观的三维影像，并对样本进行精确的定性和定量分析。在牙齿成像中，Micro-CT 能够对牙齿进行精确的线距测量，对牙齿矿化程度的测量灵敏度也较高，能够早期显示牙根表面微小吸收陷窝。在牙齿应用领域主要有以下方面：

1. 牙齿建模　有学者用 Micro-CT 对选取的完整前磨牙及磨牙进行扫描，将获得的 CT 影像通过软件进行拟合，初步形成模型，再进行修改和细化，最终形成有限元分析（FEA）软件可识别的实体三维模型，结果成功建立了前磨牙及磨牙的三维模型。建立的三维模型与实物有较好的相似性，获得的模型细致、精确，可以很好的反映前磨牙及磨牙表面及内部的解剖学特征，这也为今后的各种牙体力学分析打下了良好的基础。

2. 在根管系统研究中的应用　近年来随着 Micro-CT 分辨率的不断改进及相应图像分析软件的相继诞生，Micro-CT 已成为一种能详尽精确地观察牙齿形态学特征而不破坏牙齿结构的非侵入性技术，使得定性、定量研究根管成为可能。已有学者利用 Micro-CT 进行 C 型根管解剖结构的分析，而高分辨率 Micro-CT 可以详细了解牙根管的三维形态，测量根管的高度、体积、截面积、管壁厚度、结构模型指数（SMI）和曲率等，为口腔医师提供可靠的直接和参考依据。

（李　波　朱友家）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第五章

上颌前牙髓腔形态

上颌前牙的髓腔形态是口内所有牙齿髓腔形态中最为简单的，其共同形态特点是：①髓室与根管之间没有明确的界限，因此揭开髓室顶后，沿牙体长轴方向探入髓室的器械可以顺利进入根管内；②根管粗大，较少弯曲，根管直达根尖1/3段才逐渐变细，根管锥度典型明显；③髓腔外形与牙体外形基本一致（图5-1）。根管形态变异较少，因此，上颌前牙是临床上最易进行治疗操作的牙位之一。

第一节　上颌中切牙髓腔形态

上颌中切牙的髓腔形态与牙体外形相似，髓室在牙体表面的投影位于牙冠和牙颈的内部，其根管粗大且与牙根长轴方向一致，粗大的根管直至根尖1/3才逐渐变细，经根尖孔通向牙体外。透明牙研究显示，髓室壁与根管口缘相延续，呈一等腰三角形（图5-2）。



图5-1　上颌前牙髓腔的X线影像



（A）　（B）

图5-2　上颌中切牙髓腔形态

（A）正位观（B）侧位观

一、髓　　室

上颌中切牙的髓室只有五面髓壁，其中髓室顶与切嵴方向一致。在牙体的近远中向切面上髓室顶呈近远中径宽大，颊舌径狭窄的凿刃状，而在唇舌向切面上髓室顶则呈夹角的缝隙状（图5-3）。在髓室顶

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

靠两切角的深面，常有微突起的髓角，突出的最远距离可达上颌中切牙的牙冠中 1/3，髓室顶与切嵴的厚度平均约为 6.49mm，因此，上颌中切牙的切角折断或外伤导致的牙冠折裂，很容易造成外伤性牙髓炎。

四面轴相髓壁中，唇舌髓壁宽而平滑，近远中髓壁较狭窄，在髓室中部的横切面上呈近远中向的裂隙状，因此，开髓的部位选在牙冠的舌面窝，揭开舌侧髓壁后进入髓室以及根管内。有学者测得髓室下半部的四面髓壁的平均厚度：唇侧壁为 2.33mm，舌侧壁为 2.76mm，近中和远中壁均为 2.26mm。若发生猖獗龋，很容易穿透髓壁直达髓腔。

上颌中切牙的髓室无髓室底，根管口与髓室下段的四面轴相髓壁彼此延伸移行，在牙体的水平截面上呈圆形（图 5-4），在颈线测得的髓室近远中宽度平均约为 1.7mm。



图 5-3　上颌中切牙髓腔纵切面观

（A）近远中向切面（B）唇舌向切面



（A）　　（B）

图 5-4　上颌中切牙连续水平切片

（A）上颌中切牙唇面观（B）上颌中切牙横切面观

二、根管系统

上颌中切牙的根管形态，几乎为单根单管型（图 5-5）。据统计 99% 以上的个体为 I 型，虽然在个案的报道中有 2-1 型根管存在，但目前临床大量的上颌中切牙病案中，很少有资料描述因该牙的根管形态结构复杂而导致治疗失败的报道。

在连续切片的髓腔形态研究中，穿行在牙根内的根管粗大，几乎平行于牙体长轴直达根尖。横切面的形态表现为靠近牙颈部呈圆三角形，在牙根内逐渐变成圆形或椭圆形，直至根尖 1/3 段才缩小为漏斗状 [图 5-5（B）]。大部分国人的上颌中切牙为 1-1 型根管，目前只有在蒙古族居民的根管研究中发现有 1-2-1 型根管，且比例高达 6.7%，1-1 型的出现率约为 93.3%，这种差异是否与地域有关，目前还不清楚。Sponchiado 等也只报道了 1 例上颌中切牙为双根管，其他均为单根单管的形态特点。

虽然上颌中切牙几乎均为一条粗大的单根管，但增龄变化和过度钙化，可使根管的形态发生改变。研究表明，上颌中切牙根管的直径，每 10 年可以减径 0.2mm 左右，即继发性牙本质的沉积使髓腔壁逐年增厚，在日积月累以后，高龄者与年轻者之间存在明显的管径粗细差异。表 5-1 中分年龄组统计的髓腔近远中径的变化，可在实际应用中作为参考。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　　（B）

图 5-5　上颌中切牙根管形态

（A）根管横切面（B）透明牙显示根管形态

表 5-1　上颌中切牙髓腔不同年龄组定点测量的比较

测量部位	年龄组与髓腔近远中径测量均值（mm）					
	15 岁～	26 岁～	36 岁～	46 岁～	56 岁～	66～80 岁
根颈部近远中径	2.04	2.01	1.30	1.25	1.05	1.00
根中 1/2 近远中径	1.27	1.20	0.89	0.6	0.54	0.41

从表 5-1 可以看出，髓腔的改变与年龄的增长存在明显的相关关系。经计算颈线处的相关值 γ=-0.6409，而根中 1/2 处的相关值与年龄更密切，γ=-0.8456，两处的结果均为负相关关系。随着年龄增长，上颌中切牙根管直径逐渐缩窄，提示髓腔的空间和牙髓的活力在老年人与青年人之间有明显差异。因此，根管预备过程中，选择治疗器械型号也是有区别的。

另外一种情况更为特别，即部分人上颌中切牙的髓腔可以完全钙化而闭塞，虽然在下颌前牙这种情况比较常见，但上颌中切牙也时有发生，甚至整个根管因为过度钙化而寻找不到管腔（图 5-6）。有人提议若遇到这种病例，当打开髓室顶后，可在钙化区涂擦碘酊让其着色，随后用消毒乙醇擦拭洗去多余的碘酊，此时可见着色较深的染色区，此便是钙化封闭的根管口，这时可以用钻－锉方法扩开闭塞的根管，为日后进一步治疗奠定基础。



图 5-6　上颌中切牙髓腔过度钙化

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

上颌中切牙根管单一，并且粗而直，但仍存在一定比例的侧副管结构。国内资料调查显示，在人群中约 23.49% 的个体上颌中切牙存在侧副管，常见的有根管侧支、根尖分歧和根尖分叉三类。现有资料表明，各学者的调查结果无明显差异，其统计结果见表 5-2。

表 5-2　上颌中切牙侧副管形态及发生率（%）

资料来源	根管侧支	根尖分歧	根尖分叉	管间吻合
资料①	24.20	2.75	7.95	0
资料②	18.67	3.01	3.61	0
资料③*	13.3	—	20.0	0.6

注："—" 表示未行立项观察，"0" 表示观察结果为零，"*" 表示蒙古族

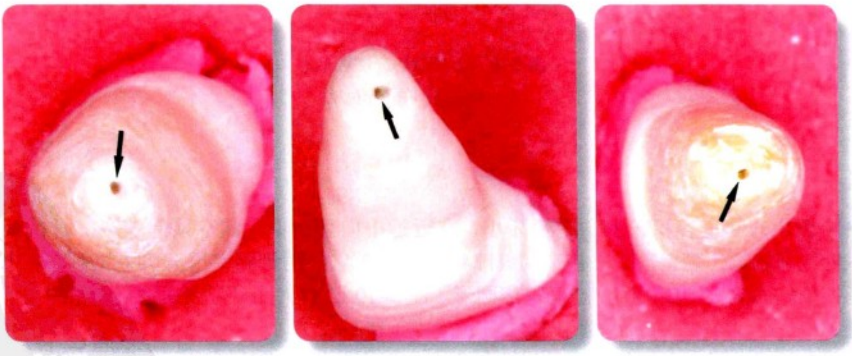
表 5-2 的统计结果显示①②组资料的观察结果相似性较大，均未出现管间吻合形态，但③组蒙古族居民则出现了管间吻合，其发生率为 0.6%，这说明在上颌中切牙双根管也占一定比例。然而，在临床治疗病案中很少有因上颌中切牙管间吻合的存在而导致根管治疗失败的报道，这只有两种可能，一是对失败的病例没有做追踪研究，二是在汉族人中上颌中切牙确实少有双根管和多根管的形态。

三份研究报道显示在侧副管形态中，根管侧支和根尖分叉为最常见结构。进一步研究发现，根管侧支通常出现的部位是在上颌中切牙根管的根尖 1/3 段，发生率高达 19.27%；位于根中 1/3 段只有约 4.98%；根颈 1/3 段特别少见。

因此，上颌中切牙的根管治疗有很多便利因素，这些因素有：①髓室与根管间无阻碍结构，开髓后无需耗费时间精力寻觅根管口；②因为中切牙位于牙弓前部，操作有良好的视野；③根管粗而直，双根管极为少见，无需费时寻找其他根管。但操作者必须注意，该牙的根管侧支、根尖分歧和分叉是存在的，而且多靠近牙根末端，根充治疗过程中需尽量将其严密封闭。

三、根尖孔与侧孔

根尖孔在恒牙刚萌出的早期孔径较大，随着个体年龄的增长，孔径才逐渐缩小。有人测量主孔的直径通常在 0.25 ~ 1.25mm，平均约 0.46mm。根尖孔的外形可以分为四种形态：圆形、椭圆形、肾形和不规则形（图 5-7），除不规则形态外，其余三种形态所占比例基本相等。一项统计调查显示：圆形的根尖



（A）　（B）　（C）

图 5-7　上颌中切牙根尖孔的形态与位置

（A）椭圆形，位于根尖顶点（B）肾形，位于侧面（C）圆形，位于根尖顶点

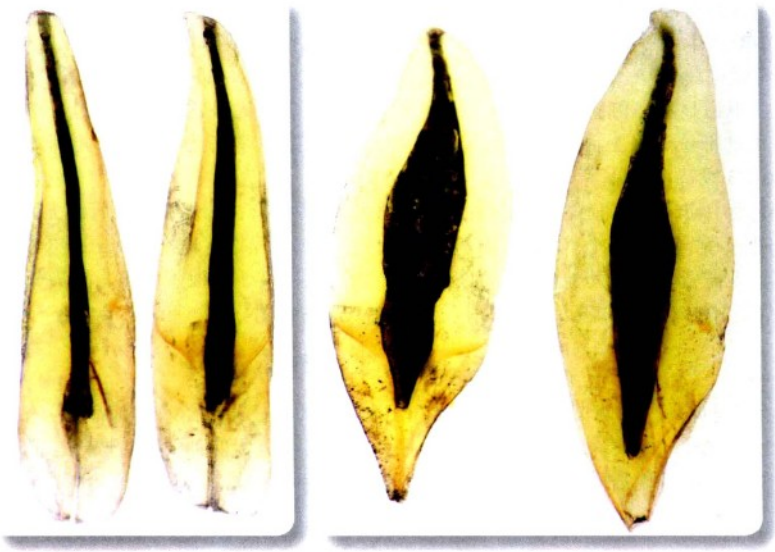
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

孔占 28.7%，其直径平均约为 0.26mm；椭圆形根尖孔占 28.6%，其最大平均直径约为 0.22mm；肾形根尖孔占 28.5%；不规则形根尖孔所占比例较小，约占 14.2%。

上颌中切牙的根尖孔开口位置约有 55.45% 位于根尖顶点，其余 44.55% 的根尖孔则开口在根尖段四个轴面的某一侧，即偏向唇侧、腭侧、近中或远中侧（图 5-7）。上颌中切牙的侧孔孔径多较主孔小，通常在 0.13 ~ 0.44 mm，平均约为 0.15mm；其外形常见为圆形和椭圆形。

第二节 上颌侧切牙髓腔形态

上颌侧切牙的髓腔形态与牙体外形相似，髓室与根管之间没有明确的界限，髓室顶唇舌向狭窄，并向远中呈弧形连接远中髓壁（图 5-8）。在髓腔的近远中向切面上，以髓室顶部最宽；在髓腔的唇舌向切面上，髓腔的最宽处位于颈线的深面。髓腔在牙颈部横切片上呈椭圆形，髓室与根管的交汇处呈漏斗状，根管在根尖 1/3 段常有弯曲。



（A）　　（B）

图 5-8　上颌侧切牙髓腔形态

（A）正位观（B）侧位观

一、髓　　室

上颌侧切牙的髓室容积较上颌中切牙小，在近远中向切面上，髓室顶部较宽；而在唇舌向切面上，髓室近底部较宽，髓室顶呈一狭窄的缝隙状（图 5-9）。经测量髓室顶至切嵴的垂直距离平均约为 5.66mm。四面轴相髓壁围成的髓室空间呈卵圆形（图 5-10），有人测量了四面轴相髓壁的平均厚度分别为：唇侧 2.10mm、舌侧 2.31mm、远中 1.80mm、近中 1.77mm。

与上颌中切牙一样，上颌侧切牙也没有髓室底，髓室与根管直接延续，这种无界限连接使得开髓后器械很容易进入根管内实施有关的治疗操作过程。然而在人群中，有些个体的上颌侧切牙发育畸形，表现为该牙的舌面窝不但有深陷皱褶，而且有纵沟越过舌面隆突至该牙的根面，从而使髓室的舌

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

侧壁有缺陷。若开髓前没有仔细辨别舌窝纵沟，在根管预备中有可能将薄弱的沟底扩穿，导致与牙面相通。

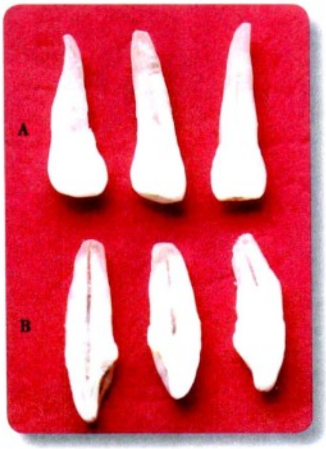
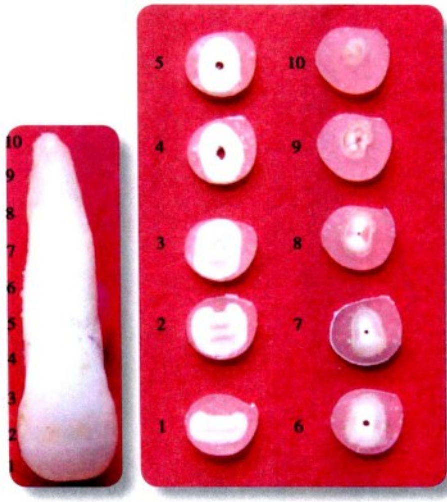


图 5-9 上颌侧切牙髓腔纵切面观

（A）近远中向切面（B）唇舌向切面



（A） （B）

图 5-10 上颌侧切牙连续水平切片

（A）上颌侧切牙唇面观（B）上颌侧切牙横切面观

二、根管系统

上颌侧切牙的根管类型大部分属于单管型，即 1–1 型，双根管罕见。近年来研究也表明，该牙的根管形态比较单一，据统计 99.02% 为 1–1 型根管，0.98% 为 2–1 型根管；但对蒙古族居民的调查研究发现 60% 为 1–1 型根管，40% 为单双混合型根管。若有如此高比例的单双混合型根管存在于上颌侧切牙，那么在上颌前牙的根管治疗中，上颌侧切牙无疑是难度最大的，而且该牙的外形较上颌中切牙和尖牙都特殊，牙根的根尖 1/3 段常向远中弯曲，有时也向唇侧弯曲，致使牙根内的根管末端也呈明显的弯曲（图 5–11）。因此，根管预备时，根管的弯曲拐角点易形成台阶或侧穿。

在上颌侧切牙的连续横切面上，根管的外形沿牙体长轴方向从卵圆形到圆形逐渐改变，但根管始终位于牙根的中心位置（图 5–12）。管腔测量显示，在该牙的颈线深面，髓腔近远中径平均宽约 1.4 ± 0.47mm，而在根中 1/2 处的根管近远中径则缩小至约 0.8mm，这一值明显小于上颌中切牙的髓腔空间距离。

在上颌侧切牙的根管测量中，随着年龄增长被检测样本的根管直径逐渐缩小，这主要是由于继发性牙本质沉积所致，当然其他牙齿也会出现同样的现象。表 5–3 是按照年龄分组定点测量的上颌侧切牙根管近－远中径值，可供根管预备选用初锉时参考。

根管的近远中径与增龄性的改变存在相关关系，在根颈部的相关系数 $\gamma=-0.6321$，在根中 1/2 处的相关系数 $\gamma=-0.7881$。

上颌侧切牙侧副管的发生率较上颌中切牙高，在人群中约为 43.14%。在形态学上仍以根管侧支、根尖分歧和根尖分叉为主，它们的发生率见表 5–4。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　　　　（B）

图 5-11　上颌侧切牙的根管弯曲

（A）正位观（B）侧位观



图 5-12　根管穿行在牙根中心处

表 5-3　上颌侧切牙根管不同年龄组定点测量的比较（mm）

测量部位	15 岁～	26 岁～	36 岁～	46 岁～	56 岁～
根颈部近远中径	1.72 ± 0.33	1.66 ± 0.31	1.21 ± 0.18	0.81 ± 0.24	0.44 ± 0.20
根中 1/2 近远中径	1.11 ± 0.23	1.07 ± 0.06	0.65 ± 0.28	0.45 ± 0.19	0.45 ± 0.15

表 5-4　上颌侧切牙侧副管形态及发生率（%）

	根管侧支	根尖分歧	根尖分叉
资料①	19.16	16.67	16.67
资料②	18.73	3.49	3.81

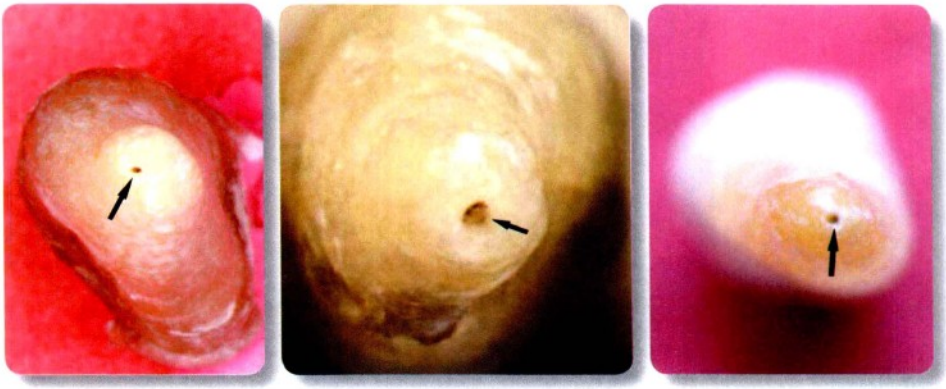
从两份调查资料可以看出，根管侧支的发生率相近，但根尖分叉和根尖分歧则存在明显的差异。表明这些结构可能存在区域性特征，在临床实践中这些形态出现的几率可作为参考。

根管侧支发出的部位与上颌中切牙略有不同，上颌中切牙通常在根颈 1/3 段无根管侧支发出，但上颌侧切牙根颈 1/3 段约有 0.32% 可出现根管侧支。虽然发生率不足 1%，但它已突破了根颈部没有根管侧支的形态规律。上颌侧切牙的根中 1/3 段发生根管侧支依然较低，约为 3.81%；根尖 1/3 段根管侧支的发生率最高，可高达 14.60%。蒙古族居民 1-2-1 型根管的比例较高，但在根管系统形态中未发现有根管侧支和根尖分歧等结构。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

三、根尖孔与侧孔

上颌侧切牙的根尖孔形态目前只报道有圆形和椭圆形两种（图 5-13），未发现肾形和不规则形态。圆形根尖孔的直径平均约为 0.17mm，椭圆形根尖孔的最大直径平均为 0.28mm。但年轻人的根尖孔常较大，平均直径达 0.35mm。根尖孔位于根尖顶点的仍占多数，约为 62%，另 38% 的根尖孔偏向根尖段的任意一侧，即颊侧、腭侧、近中或远中侧。上颌侧切牙的侧孔也较常见，但这些孔径较主孔小，年轻人的上颌侧切牙侧孔之孔径平均约为 0.16mm。



（A） （B） （C）

图 5-13 上颌侧切牙根尖孔的形态与位置

（A）圆形，位于根尖顶点（B）椭圆形，位于根尖顶点（C）圆形，位于侧面

第三节 上颌尖牙髓腔形态

上颌尖牙虽然同属前牙组，但髓腔形态与上颌切牙髓腔相似处很少。上颌尖牙的髓室呈圆锥状，根管粗而长（图 5-14），是全口牙中最长的根管。位于根尖部的主孔也只有一种形态。由于尖牙外形独特，自洁作用较好，所以临床上发生在尖牙的龋坏或牙髓疾病的几率相对较小。若需行根管治疗，打开髓室顶后，治疗器械可以顺畅地到达根管的中部，除非根管存在过度钙化。

一、髓 室

上颌尖牙的髓室呈圆锥状，髓室顶中部有突出的髓角，直指牙尖方向，髓角最突点可达牙冠的中 1/3。该牙的牙尖高而厚，其髓室顶至牙尖的平均厚度可达 5.41mm。四面轴相髓壁围成的髓室空间在水平切面上呈唇舌径大于近远中径的椭圆形，近远中两髓壁宽于唇舌侧两髓壁，髓室的水平切面积以颈线深面的一段最为宽阔（图 5-15）。测量四面轴相髓壁显示，以舌侧髓壁最厚，平均厚度约 3.03mm；唇侧髓壁次之，平均厚约 2.81mm；远中髓壁平均厚约 2.33mm；近中髓壁最薄，平均厚约 2.15mm。

髓室无底，直接与根管相续，因而根管口也很难定位，从应用角度出发，无需再做划分。上颌尖牙 99% 以上只有一条根管贯通牙根全长，根管始端水平切面，仍显示为唇舌径宽大的卵圆三角形。

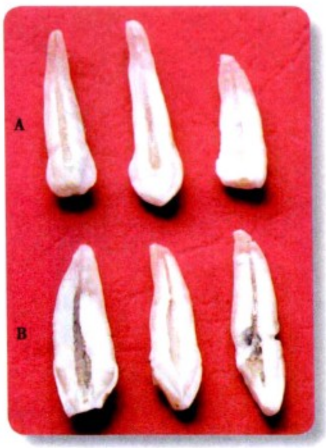
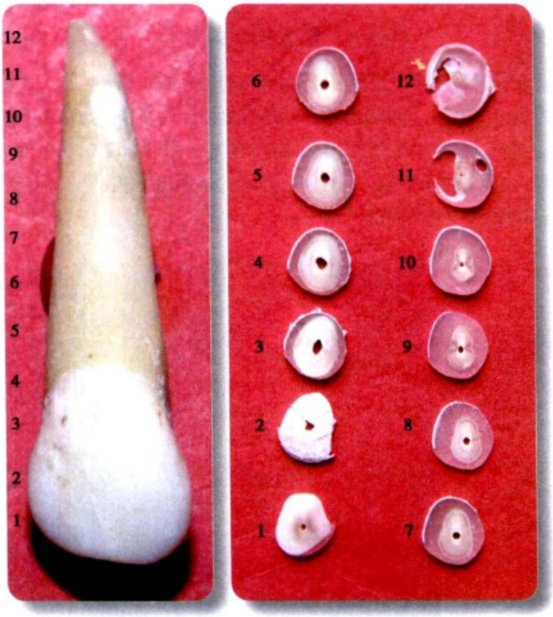


图 5-14 上颌尖牙髓腔纵切面观

（A）近远中向切面（B）唇舌向切面

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



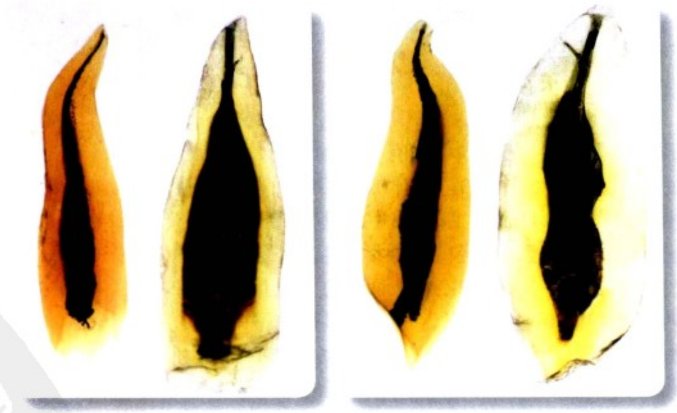
（A） （B）

图 5-15 上颌尖牙连续水平切片

（A）上颌尖牙唇面观（B）上颌尖牙横切面观

二、根管系统

多数资料结果表明，上颌尖牙基本上表现为单根单管型，粗大的根管从髓室底延伸直至根中 1/3 和根尖 1/3 交界处才显狭窄，有人测得该位置距根尖约为 3 ~ 5mm。用器械探查根管时，根管的中上段空间宽阔，但当器械锐端接近根尖时，空间就变得狭小，而且上颌尖牙牙根末端常向远中弯曲（图 5-16），



（A） （B）

图 5-16 上颌尖牙髓腔形态

（A）正位观（B）侧位观

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

内部的根管也随着弯曲，使得器械的活动受限。若器械的韧性较差，操作者根管预备技术运用不当，这时很容易导致根管壁侧穿或器械折断等并发症。

近年来对上颌尖牙的髓腔研究发现，该牙根管主要是1-1型，约为99.51%；2-1型根管出现较少，约为0.49%，调查未发现其他根管类型。

对于上颌尖牙侧副管的发生率，争议较大。调查发现，蒙古族居民的上颌尖牙侧副管发生率约25%；但在汉族居民中的统计认为约有49.22%上颌尖牙存在侧副管，甚至有调查统计高达70.59%。对此较大的差异，尚有待进一步研究证实。

在侧副管形态中，仍以根管侧支、根尖分歧和根尖分叉最为常见。多项资料都证明了这一结论，但它们之间的发生率存在差异（表5-5）。

表5-5　上颌尖牙侧副管形态及发生率（%）

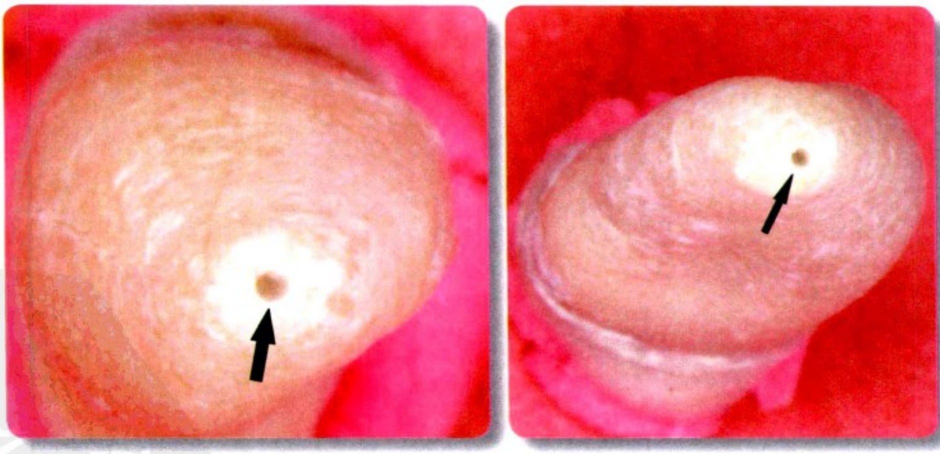
	根管侧支	根尖分歧	根尖分叉
资料①	27.98	8.03	13.21
资料②	41.18	23.53	23.53
资料③	0	8.3	16.6

根管侧支在上颌尖牙仍以根尖1/3段出现几率最高，平均约为25.13%，其次是根中1/3段，约为2.85%；目前还未见根管侧支在根颈1/3段的报道。

因此，关于上颌尖牙侧副管形态的规律，我们可以得出如下结论：①侧副管中最常见的是根管侧支，其最易出现的部位是根尖1/3段；②在任何地区居民的上颌尖牙中，根尖分歧和根尖分叉是侧副管中较常见的形态。

三、根尖孔与侧孔

上颌尖牙的根尖孔几乎全部为圆形（图5-17），从已有的报道资料中未见有肾形和不规则形。上颌尖牙根尖孔的直径平均约为0.44mm，但变动的范围较大，最小根尖孔的直径只有0.15mm，最大的根尖



（A）　（B）

图5-17　上颌尖牙根尖孔的形态与位置

（A）圆形，位于根尖顶点（B）圆形，位于侧面

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

孔可达 0.81mm。根尖孔位于根尖顶点的只有 52%，48% 的根尖孔位于根尖段的某一侧，即唇侧、腭侧、近中或远中侧。侧孔的直径较主孔明显缩小，平均约 0.21mm。侧孔的外形也均为圆形，直径最小的侧孔只有 0.06mm，而最大的侧孔约为 0.59mm。

（朱友家　杨　磊）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第六章

下颌前牙髓腔形态

下颌前牙与上颌前牙的髓腔形态，虽然均属与牙体外形基本相似的一类，但下颌前牙的一些形态特征是上颌前牙所不具备的，或者说这是下颌前牙所独有的形态特征。

上颌前牙髓腔宽大，根管较直，在横切面上近似圆形；然而下颌前牙的髓腔通常都较同名的上颌前牙髓腔狭窄[图 6–1（A）]。根管也多呈弯曲状态，有人统计在下颌前牙中，其根管约有 40% 存在不同程度的弯曲，且弯曲的方向也不恒定，近远中向弯曲度平均达 10°，弯曲半径平均达 9.7mm；唇舌向弯曲度平均达 15.8°，弯曲半径平均达 4.7mm。

上颌前牙根管单一，单根单管是其主要类型，但下颌前牙双根管的比例达 30% 左右[图 6–1（B）]。由于双根管的出现，治疗中若有根管遗漏，治疗效果会大受影响。因此，下颌前牙的根管治疗操作过程较上颌前牙根管治疗操作过程复杂。外伤、龋病和过度磨耗最容易导致牙髓腔过度钙化或完全钙化，其中下颌前牙形成髓腔闭塞最为常见。有学者在连续 3 年统计的 26 例过度钙化的髓腔病例中，发现 53.9% 的病案是下颌切牙受累，而且以 60 ~ 69 岁年龄组发病率最高。



（A）



（B）

图 6–1　下颌前牙的髓腔形态

（A）X 线片显示髓腔在牙体内竖行而空间狭窄（B）透明显示唇 – 舌向排列的两条根管

第一节　下颌中切牙髓腔形态

下颌中切牙是全口牙体外形最小者，髓腔容积也是牙髓腔空间最小者（图 6–2）。由于下颌中切牙髓

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

腔容积小，当有渗出性炎症时，最容易压迫神经导致疼痛；同时因髓腔空间狭窄，治疗中使用器械的型号大小也受到限制。下颌中切牙邻近下颌下腺和舌下腺导管的开口处，因此，下颌中切牙的龋坏几率也较口内其他牙齿低。

一、髓　　室

下颌中切牙的髓室与根管之间通常没有明确的界限，髓室底在单根管和双根管分叉较低的牙内缺失，髓室与根管相互移行。四面轴相髓壁围成的髓室横切面呈唇舌径大于近远中径的椭圆形，以舌侧髓壁最厚，平均约 2.28mm；唇侧髓壁次之，平均厚约 2.08mm；远中髓壁平均厚约 1.47mm；近中髓壁最薄，平均厚约 1.44mm。

髓室顶近远中径大，而且在近远中方向有微突出的髓角，与近远中切角对应（图 6–3），髓室顶至切嵴的垂直距离约为 4.97mm。由于髓室顶的面积狭窄，所以下颌切牙的开髓部位仍选择在该牙的舌面窝。揭开髓室顶后，沿牙体长轴器械可直接进入根管内。

髓室与根管移行处的横切面唇舌径大于近远中径（图 6–4），近远中径的平均值约为 0.7mm。但该值随着年龄的增长也发生着变化，通常年轻人牙齿大于该值，老年人牙齿小于该值。

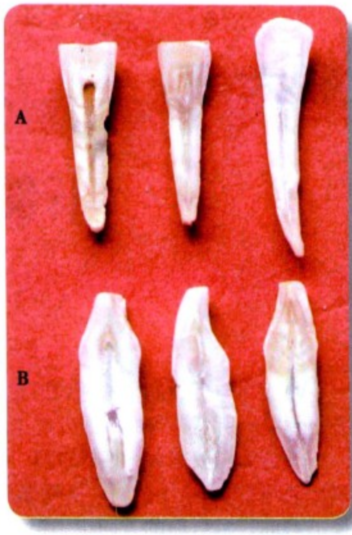
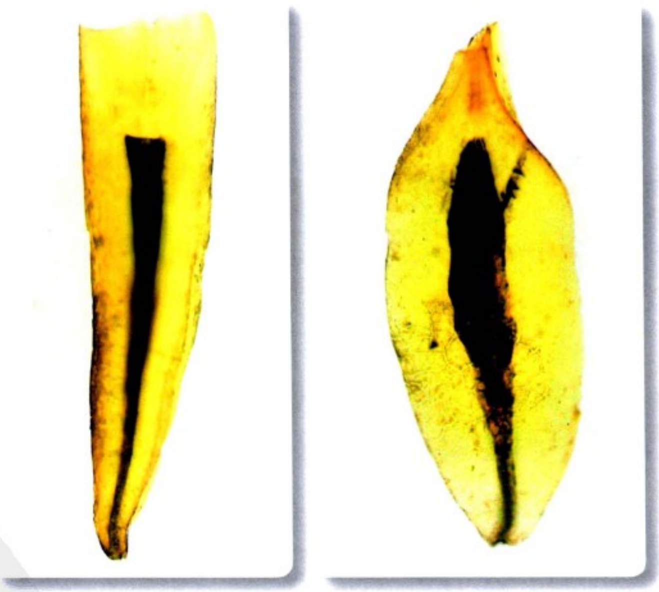


图 6–2　下颌中切牙的髓腔纵切面观

（A）近远中向切面（B）唇舌向切面



（A）　（B）

图 6–3　下颌中切牙髓腔形态

（A）正位观（B）侧位观

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　（B）

图 6-4　下颌中切牙连续水平切片

（A）下颌中切牙唇面观（B）下颌中切牙横切面观

二、根管系统

下颌中切牙的根管并非如上颌中切牙根管那样单一，多种形态的根管均可出现在下颌中切牙。虽然统计单根管的比例高达 80%，但是单根双管型、单双管型，也占一定比例。有人认为这与下颌切牙的牙根外形扁及近远中面出现长形凹陷有关。但目前关于牙根外形和根管分型的相关研究结论显示，两者间没有必然的联系，即有明显长形凹陷的下颌中切牙牙根内部也可能是单根管，无明显长形凹陷的牙根内部也可出现双根管。

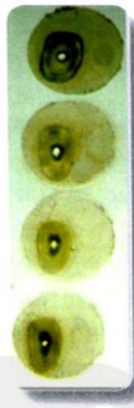


图 6-5　下颌中切牙根管形态

在下颌中切牙的根管类型中，除了单根管外，单双混合型根管也较常见。有关真正的双根管类型，在国人中报道的比例并不高，在北美是以个案的报道描述下颌切牙双根管的。文献曾记载 1 例下颌中切牙，双侧均为单根双管型，而且是完整的 2 口 2 孔形态。目前资料最突出的是 Awawdehla 报道 26.2% 的下颌中切牙有两条根管，国内对下颌中切牙的根管形态及分类的报道可参见表 6-1。

表 6-1　下颌中切牙根管类型及比例（%）

	Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型	Ⅳ型	Ⅴ型	Ⅵ型	Ⅶ型	Ⅷ型	其他型
	1–1	2–1	1–2–1	2–2	1–2	2–1–2	1–2–1–2	3–3	
国内资料①	57.4	1.5	29.6	0	3.0	4.8	0	0	3.7
国内资料②	82.05	5.13	9.94	2.88	0	0	0	0	0
蒙古族居民	80.0	0	20.0	0	0	0	0	0	0
国外资料	91.54	3.95	0.56	0	0.56	1.13	0	1.13	1.13

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

表中可以看出真正双根管形态比例极低，下颌中切牙还是以单根管类型为主（图 6-5）。若在治疗中遇到可疑双根管时，可通过下列措施给予确定：①在 X 线下显示根管有重影现象，或者根管影像不在根中部而是偏向一侧，此时多为双根管；②开髓时可以适当多去除该牙舌侧髓壁，使根管口能得到充分暴露，便于寻觅隐匿的根管口，以确定是否有双根管存在；③用根管锉仔细探寻，弄清根管的数目和方向后，再进行治疗性操作，以免遗漏根管导致治疗失败。在国外资料中，双根管出现几率也较低，但曾报道有三根管类型，该形态国内则未见报道。下颌中切牙的根管类型是否有居民种族差异，目前还不清楚。但根据牙体外形特点，与居民种族间是有独特联系的，如铲形中切牙是蒙古族人种三大体质特征之一，在高加索民族中则很不明显。

有学者测量了下颌中切牙单根管的工作长度，平均约 19.9mm，但有一点需要引起注意，即下颌中切牙的根管多存在弯曲。资料统计表明，真正呈直行的根管在人群中只占 42%，其余的下颌中切牙根管均有不同程度的弯曲，弯曲可以偏向牙体长轴的任意一侧，但以近远中方向的弯曲比例最高。

根管的直径常涉及根管预备中初锉的选择，而根管的直径与个体的年龄之间有一定的联系，所以分年龄组研究根管的直径是一项重要工作。现有资料是以约 10 岁年龄组为间隔，测量了下颌中切牙根管入口处与根管中段的近远中径值，其结果见表 6-2，这种改变存在高度的相关关系，相关系数 $\gamma=-0.8249$。

表 6-2　下颌中切牙髓腔不同年龄组定点测量的比较（mm）

测量部位	15 岁 ~	26 岁 ~	36 岁 ~	46 岁 ~	56 岁 ~
根颈部近远中径	1.72 ± 0.33	1.66 ± 0.31	1.21 ± 0.15	0.81 ± 0.24	0.44 ± 0.20
根中 1/2 近远中径	1.11 ± 0.23	1.07 ± 0.06	0.65 ± 0.28	0.45 ± 0.19	0.45 ± 0.15

从表 6-2 可以看出，随着年龄的增加，根管的近远中径逐渐减小，这与髓腔内的继发性牙本质沉积有关。当外界刺激因素参与时，可以加速这种髓腔容积减小的过程。由于下颌中切牙的髓腔容积本来就小于口腔内其他牙齿的髓腔容积，所以在慢性咬合创伤，严重磨牙症或前牙区重度磨耗时，会出现下颌中切牙髓腔的闭塞，使得开髓后很难寻觅到根管口，治疗中需要通过染色来确定原根管口的位置，再施以低速球钻或超声工作头沿钙化区进行探寻和预备，直至根管被疏通。

在根管的类型中，虽然 2–1 型和 1–2 型同属单双混合型，但在临床治疗中，两者的难易程度相差显著。在根管预备和根管充填中，2–1 型远较 1–2 型容易，这是因为 2–1 型根管在牙根内合并，预备分别从两个根管口探入，最后归结为一条根管，操作相对容易并可重复进入 A、B 两管中预备；而 1–2 型根管在操作中，器械可控性较小，顺利而准确地进入 A 管或 B 管内较难，这无疑在根管预备中增加了治疗难度。2–1 型根管的合并与 1–2 型根管的分叉，其出现的位置是否有规律可循，这也是值得探讨的问题。研究结果显示，两者存在一定差异，表 6-3 归纳总结了 2–1 型和 1–2 型根管分合位置的比例分布，以供临床应用参考。

表 6-3　下颌中切牙 2–1 型和 1–2 型根管分合位置的比例分布（%）

根管类型	根颈 1/3 段	根中 1/3 段	根尖 1/3 段
2–1 型	42.86	14.32	42.82
1–2 型	0	100	0

在下颌中切牙的根管系统中，侧副管的发生率约为 11.86% ~ 14.43%，除常见的根管侧支、根尖分歧和根尖分叉外，管间吻合及旁管等根管系统结构也时有报道，但主要形态仍以根管侧支和根尖分叉最

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

为常见。表 6–4 是来源两组研究资料的结果，可见人群中下颌中切牙的侧副管形态在不同地域间存在某些差异。

表 6–4　下颌中切牙侧副管形态及发生率（%）

	根管侧支	根尖分歧	根尖分叉	旁管	管间吻合
资料①	2.82	1.69	3.95	0.57	2.83
资料②	5.13	3.85	5.45	—	—

根管侧支在牙根内任一位置均可存在，这与根尖分歧和根尖分叉不同，后两种形态只有在根尖处才能存在。根管侧支的发生位置与临床治疗效果之间存在内在联系，越靠近根颈处的根管侧支，由于侧支与主根管间角度较大，难于给予完善的充填封闭。不过根据现有研究资料显示，根管侧支在根颈 1/3 段的发生率较少，而在根尖 1/3 段较为多见（表 6–5）。

表 6–5　下颌中切牙根管侧支出现部位的发生率（%）

出现部位	根颈 1/3	根中 1/3	根尖 1/3
发生率	0.32	0.96	3.85

由于下颌中切牙出现了双根管，因而可能出现管间吻合，另外还可能出现管间吻合中的一种特殊形态，即根管峡（图 6–6），这在上颌切牙中尚未见到。

下颌中切牙的根管峡结构出现率在侧副管中占有一定比例。虽然根管峡最早发现是在上下颌第一磨牙的根管中，但随后在下颌切牙中也发现根管峡，其复杂程度与后牙的根管峡的结构相比毫不逊色。人们研究发现，在下颌中切牙的根管全程行进中，即根颈、根中和根尖任意一段内均可发生根管峡。不过统计表明发生在根中 1/3 段内的根管峡最常见，其比例高达 75%，其次是根颈 1/3 段，根尖 1/3 段少有发生。这是因为下颌中切牙的唇舌并行有两根管，当穿行至根尖段时，两根管的距离几乎接近融合状态，存在根管峡的空间已濒临消失。

下颌中切牙的根管直径本来就较细小，若两根管间存在峡区，其髓腔空间就更为狭窄，因此，根管预备很难到位，早期学者在报道下颌中切牙根管峡时认为这种结构不易清理、充填难到位、微生物易残留。



图 6–6　下颌中切牙的管间吻合（根管峡）

三、根尖孔与侧孔

下颌中切牙的根尖孔外形呈圆形和椭圆形（图 6–7），现有资料未发现其他形态的根尖孔存在。根尖孔的最大直径是 0.76mm，最小直径是 0.13mm，有人测得根尖孔的平均直径是 0.33mm。统计显示，下颌中切牙的根尖孔 56.1% 位于根尖顶点，另有 43.9% 的根尖孔则偏离根尖顶点，可以在根尖段四个轴面的任意一侧，但位于唇侧及远中侧的比例偏高一些。下颌中切牙根尖的侧孔较主孔小，其直径平均约为 0.2mm，最大的侧孔直径约为 0.4mm，而最小的侧孔只有 0.06mm。侧孔的外形也只有圆形和椭圆形两类，有人测得圆形侧孔的直径平均约为 0.16mm，而椭圆形侧孔的最大直径平均为 0.24mm。主孔约有半数不在根尖顶点，侧孔则全部位于根尖段的某一侧。因此，在根管治疗测量工作长度时，要防止根管锉超出牙体外，因为 X 线的检测图像容易被牙根影像遮盖导致分辨不清，从而造成工作长度确定有误。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　　（B）

图 6-7　下颌中切牙的根尖孔形态与位置

（A）椭圆形，位于顶点（B）圆形，位于侧面

第二节　下颌侧切牙髓腔形态

下颌侧切牙的髓腔容积较下颌中切牙的髓腔容积大，在空间构型上两者特别相似，以致在许多情况下，将两个牙位的髓腔形态合并描述；如果需要找出两者的区别，则是下颌侧切牙的髓室顶较下颌中切牙的髓室顶近远中径长，并且远中的髓角低平或不明显，根管的唇舌径至根尖 1/3 段才逐渐缩小（图 6-8），而下颌中切牙的根管缩窄位置较此稍高。因而器械在探入根管内活动空间有差别，在操作中单凭手感的差异，多数时候易被忽视。

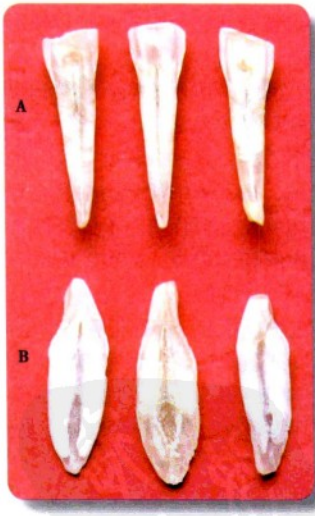


图 6-8　下颌侧切牙髓腔纵切面观

（A）近远中向切面（B）唇舌向切面

一、髓　　室

下颌侧切牙的髓室通常由五面髓壁围成。髓室顶以近远中径较长，唇舌径狭窄呈一条缝隙；位于髓室顶的近中髓角较明显，斜对近中切角的方向；髓室顶至切嵴的垂直距离平均约为 4.74mm。四面轴相髓壁围成的髓室切面呈唇舌径大于近远中径的椭圆形，其中唇侧髓壁最厚，平均约 2.41mm，舌侧髓壁次之，平均厚约 2.18mm，近远中髓壁平均厚约 1.52mm。通常情况下，下颌侧切牙的髓室无髓室底，髓室与根管直接延续。根管口的边缘就是髓室的下缘，该部位髓腔连续水平切面显示髓腔空间为唇舌径大于近远中径（图 6-9）。下颌侧切牙开髓也从该牙的舌面窝进入，只要将髓室从舌面窝开窗后，器械可以较顺利地进入根管上端。

二、根 管 系 统

众多研究资料表明，下颌侧切牙的根管类型绝大多数为单根单管型，髓室与根管直接延续，但在人群中出现双根管也并非罕见，资料统计显示唇舌向两根管约占 8%（图 6-10），因此，有人主张下颌侧切牙 X 线投照显示根管时最好与牙体长轴旋转约 25°，以免两根管重叠而影响根管数判断。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　　　　　　（B）

图 6–9　下颌侧切牙连续水平切片

（A）下颌侧切牙唇面观（B）下颌侧切牙横切面观



（A）　　　　　　（B）

图 6–10　下颌侧切牙髓腔形态

（A）正位观（B）侧位观

研究资料显示，从根管入口处至根尖孔平均长约 11.47mm，根管起始处的平均直径为 0.9mm，在根管中段测得的平均直径为 0.4mm。下颌侧切牙的根管多有弯曲存在，弯曲的方向可以是近 – 远中向弯曲，也可以是唇 – 舌向弯曲，其弯曲夹角平均达 15.8°，弯曲半径多在 4.7mm 左右，在 1–1 型的下颌侧切牙根管中，只有约 42.4% 的髓腔表现为髓室与根管位于一条垂线上。

为了全面揭示下颌侧切牙的根管弯曲形态，有人将弯曲根管划分为四种类型。其中根管弯曲度小于 5° 的称为直根管，此类弯曲的根管对器械的进入几乎没有影响，少有阻力；当根管的弯曲夹角大于 5°

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

而小于 15° 时，称为轻度弯曲根管，这类根管使用富有韧性的器械也较容易进入根管的远端，实施根管预备；当根管弯曲度大于 15° 而未达到 25° 时，称为中度弯曲根管；弯曲度大于 25° 称为重度弯曲根管。在处理中度和重度弯曲的下颌侧切牙根管时，若力度掌握不当或选用器械不妥，常会导致根管侧穿或根尖部形成台阶。

表 6-6 是下颌侧切牙根管弯曲分级和在人群中比例分布的统计结果，可供在下颌侧切牙根管治疗时参考。

表 6-6 下颌侧切牙根管弯曲分级及比例分布（%）

根管弯曲方向	直根型（a＜5°）	轻度弯曲（5° ≤a＜15°）	中度弯曲（15° ≤a＜25°）	重度弯曲（a≥25°）
唇舌向弯曲	50.2	43.4	5.7	0.7
近远中向弯曲	15.7	66.9	16.7	0.7

从表 6-6 可以看出，下颌侧切牙的根管，真正呈重度弯曲的比例并不高，不论这种弯曲是唇舌方向还是近远中方向。但值得指出的是，虽然某些根管弯曲程度未达到重度弯曲，但其弯曲形态呈 S 状（双弯曲形），且弯曲又不在同一轴面时（唇舌方向和近远中方向同时存在），即使每一道弯曲的程度并不大，但由于是混合双向弯曲，使得根管治疗中的器械很难顺利探入，这一类根管所占比例不高，统计显示只占 2.7%，但治疗难度并不亚于重度弯曲的下颌侧切牙根管。

下颌侧切牙的根管类型中，以单根单管最为常见，但并不排除其整个形态构成的复杂性。在实际观察下颌侧切牙根管的分类中，可以出现多种类型，并且各家的统计结果存在差异。表 6-7 总结了目前多家统计资料，供在实际应用中参考。

表 6-7 下颌侧切牙根管类型及比例（%）

	Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型	Ⅳ型	Ⅴ型	Ⅵ型	Ⅶ型	Ⅷ型	其他型
	1–1	2–1	1–2–1	2–2	1–2	2–1–2	1–2–1–2	3–3	
资料①	77.87	0.65	0	3.9	8.82	7.14	1.62	0	0
资料②	88.84	8.51	0.45	1.75	0.45	0	0	0	0
资料③	85.7	0	0	0	14.3	0	0	0	0
资料④	63.6	4.4	23.1	0	4.7	0	0	0	4.2

从 6-7 表可以看出，各观察结果有一点是相同的，即观察的下颌侧切牙样本中均有 Ⅰ 型和 Ⅴ 型根管，这表明该牙最常见的根管形态为一条管道，或起始为一条根管，但在行进中出现了分叉，其走行可以呈现多种形态。如果从根管预备的角度出发，这种混合形态对治疗操作无疑是增加了难度。实际上，有些学者的资料中统计的双根管类型并非仅是 2–2 型，而是包括部分单双混合型根管，因此才有如此高比例的双根管统计结果。

1– 型和 1–2 型根管为下颌侧切牙的主要根管形态，在日常治疗中出现几率也最高。治疗中除了根管的弯曲度有影响外，根管的直径变化也是影响操作便利的因素之一，因为年龄的增长与根管直径变小存在一定的自然规律。研究增龄变化与根管直径的相互关系，可以为我们在做根管预备时选用器械型号提供参考，表 6-8 是下颌侧切牙根管直径与年龄间关系的研究结果。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

表 6-8 下颌侧切牙根管不同年龄组定点测量的比较（mm）

测量部位	15 岁～	26 岁～	36 岁～	46 岁～	56 岁～	66～80 岁
根颈部近远中径	1.04±0.15	1.00±0.20	0.77±0.10	0.63±0.21	0.58±0.20	0.48±0.09
根中 1/2 近远中径	0.54±0.15	0.48±0.19	0.38±0.10	0.20±0.05	0.20±0.05	0.18±0.08

从表中可以看出根管的直径改变是渐进性的，这种随年龄增长而管腔缩窄的相关关系是明显的（γ=-0.6082）。

有关下颌侧切牙根管弯曲形态，前面讨论的是单根管型，实际上其他类型根管也有不同程度的弯曲。有人统计在下颌侧切牙Ⅱ、Ⅲ型的根管类型中，约有 21.65% 的存在弯曲。不过这些弯曲的多支型根管约 33.8% 呈近远中向弯曲，弯曲度平均约为 10°，并未达到重度弯曲的程度。

下颌侧切牙的根管形态，无论是单根管还是双根管，或是单双混合型根管，均有一定比例的根管是弯曲的，弯曲的方向呈唇舌向或近远中向，两者的发生完全是随机的。不过从目前的统计资料显示，唇舌向的弯曲几率要高于近远中向，但弯曲度则在近远中向比唇舌向大。有研究资料显示，唇舌向的弯曲度约为 4.8°（中位数），而近远中向的弯曲度约为 9.6°（中位数），两者相差约 1 倍。弯曲程度的最大值两者也存在较大差异，唇舌向是 26°，近远中向是 44°；而唇舌向和近远中向弯曲长度两者较为接近，它们的中位数在唇舌向是 3.7mm，近远中向是 2.9mm。由于根管弯曲长度两者近似，因此，根管发生弯曲的位置在牙根内也有近似之处，表 6-9 是根管在牙根内弯曲方向与位置比例的统计。

表 6-9 下颌侧切牙根管弯曲方向与位置的关系（%）

根管弯曲方向	根尖 1/3 段	根中 1/3 段
唇舌向弯曲	75.7	24.3
近远中方向弯曲	58.4	41.6

表 6-9 中显示根管的弯曲均只发生在根中或根尖段，其中以根尖 1/3 段发生的弯曲比例最高。

描述根管弯曲程度的同时，下颌侧切牙 2-1 型根管和 1-2 型根管在牙根内形变位置的统计，仍有必要。因为在根管分型中，两者对根管预备操作的难易程度有较大差异。表 6-10 是研究 2-1 型和 1-2 型根管形态改变与发生部位的差异比较，供在应用中参考。

表 6-10 下颌侧切牙 2-1 型和 1-2 型根管分合位置的比例分布（%）

根管类型	根颈 1/3 段	根中 1/3 段	根尖 1/3 段
2-1 型	10.5	57.9	31.6
1-2 型	0	0	100

表 6-10 显示下颌侧切牙的 2-1 型根管，先为双管口起始，在根内任何位置均可汇合成一条根管通向牙体外。汇合的部位以牙根中 1/3 段较为普遍（57.9%），根颈部虽可发生，但所占比例较小；而下颌侧切牙的根管若以一个根管口起始，在根内行进中，分叉位置多集中在根尖 1/3 段（虽然统计为 100%，但不排除抽样未反映整体状况），这在根管治疗中实际增加了难度，因为越靠近根管远端的分叉，越难于控制器械进入具体位置。

下颌侧切牙的根管系统中，根管侧支、根尖分叉、根尖分歧和管间吻合为主要结构形态，此点与下颌中切牙的根管系统形态有极大的相似之处，下颌侧切牙的侧副管形态见表 6-11。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

表 6-11 下颌侧切牙侧副管形态及发生率（%）

	根管侧支	管间吻合	副根管	根尖分歧	根尖分叉
资料①	5.84	4.22	0	3.57	6.17
资料②	11.26	6.76	0	3.15	11.26
资料③	14.30	0	0	0	0

由于资料来源不同，所以出现根管系统的各类形态间存在差异，但是侧副管中四种形态结构几乎是普遍存在，即根管侧支、根尖分歧、根尖分叉和管间吻合。由于下颌侧切牙出现了一定比例的双根管结构，所以管间吻合的出现就不足为奇，只是管间吻合的出现，使该牙的根管治疗变得复杂困难。在下颌侧切牙，根管本身空间就有限，根管中部直径平均只有 0.4mm，当随着年龄增长时还会逐渐改变其容积，使直径变得更小，这就限制了某些较大直径器械的使用，如果操作不当，就可能造成根管侧穿，使治疗失败。

根管侧支发出的位置，有时也直接影响根管的预备，据已有的研究资料显示，下颌侧切牙根管侧支在根尖 1/3 段所占比例最高，约占 77.7%，在根颈部和根中部发出的侧支相对较少，而且这两个位置根管侧支所占比例几乎相等，均只有 11%。但也有与上述研究结果相反的结论，认为下颌侧切牙的根管侧支全为根颈 1/3 段发出，这一结论从形态发生上推论几乎不可能，因为根管侧支的出现与牙根发育过程中血管生长、透入穿行有关，这一随机过程并不会只局限在根颈部位置，所以多数人认为根管侧支可发生在下颌侧切牙根内任意位置，只是在发生几率上存在差异。

三、根尖孔与侧孔

根尖孔的数目与根管数目并不完全相同，据研究下颌侧切牙约 40% 的主根管均有 10% 的机会出现两个根尖孔。该牙的根尖孔多以圆形和椭圆形为主（图 6-11），但有时也可以见到其他形态的根尖孔。现有资料表明椭圆形为主要形态，约占 62.5%，真正呈圆形的根尖孔只占 37%。有人测得根尖孔的平均直径为 0.75mm，最大直径为 0.81mm，最小直径为 0.13mm，所以下颌侧切牙的根尖孔的直径变动应有一定范围，这与个体的年龄改变是有关联的。调查显示，下颌侧切牙的根尖孔真正位于牙根尖顶点的只占



（A）　（B）

图 6-11 下颌侧切牙的根尖孔形态与位置

（A）椭圆形，位于根尖顶点（B）圆形，位于根尖顶点

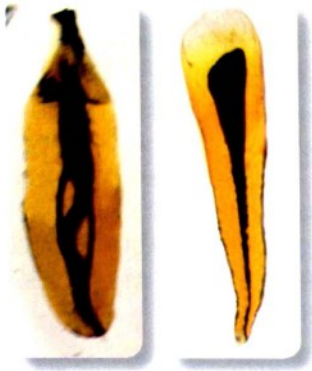
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

50% 左右，另外 50% 的根尖孔可以偏向根尖段的任意一侧，即在唇侧、舌侧、近中或远中侧。下颌侧切牙侧孔的外形，观察显示也主要为圆形和椭圆形。圆形侧孔的直径平均约为 0.17mm，椭圆形侧孔的最大直径平均约为 0.28mm，有学者测量侧孔的平均直径约为 0.2mm。

第三节　下颌尖牙髓腔形态

下颌尖牙的外形近似上颌尖牙，但体积较上颌尖牙小，髓腔容积也较上颌尖牙小。从髓室外形上比较，两者均无髓室底，而且髓室顶中部有突起的髓角，但根管的形态存在较大差异。首先下颌尖牙单根管存在明显的弯曲，并且可以出现单双混合型根管（图 6-12），这些在上颌尖牙是比较少有的特征。

虽然尖牙的龋坏几率较低，临床对尖牙根管治疗的比例相对较少，但若对其行根管治疗，下颌尖牙的根管形态较上颌尖牙复杂，需要操作者仔细辨认根管形态和根管数目，以免遗漏根管。



（A）　　（B）

图 6-12　下颌尖牙髓腔形态

（A）单双混合型（B）根管在根尖 1/3 弯曲

一、髓　　室

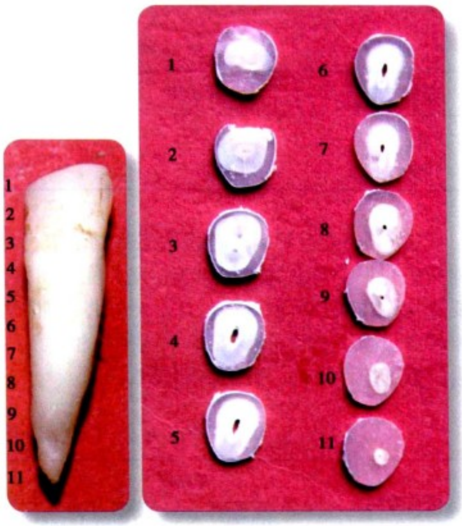
下颌尖牙的髓室只有五面髓壁，髓室呈一个锥形空间，髓室顶的中部有一个突起的髓角，与切端的牙尖相对应（图 6-13），从髓室顶到切端的垂直距离平均为 5.28mm。

四面轴相髓壁围成的髓室在水平切面上呈卵圆形，唇舌径大于近远中径（图 6-14）。在靠近牙颈部测量四面轴相髓壁的厚度分别为唇侧 2.69mm，舌侧 2.89mm，近中 2.0mm，远中 2.18mm，因为牙体的唇舌两面有唇轴嵴和舌轴嵴，所以唇舌两侧的髓壁较近远中髓壁厚。



图 6-13　下颌尖牙髓腔纵切面观

（A）近远中向切面（B）唇舌向切面



（A）　　（B）

图 6-14　下颌尖牙水平连续切片

（A）下颌尖牙唇面观（B）下颌尖牙横切面观

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

下颌尖牙开髓的部位仍在舌面窝处，开髓后器械沿牙体长轴方向探入，很容易进入髓室，并可沿此方向伸入根管的上端。下颌尖牙也没有髓室底，根管口与髓室相互移行。统计显示下颌尖牙的根管约80%以上为单根单管型（1–1 型），虽然下颌尖牙出现一定比例的双根管，但是双根管的起始位置很低，所以对于髓室底这一概念，在下颌尖牙依然不明显。

二、根 管 系 统

下颌尖牙的根管形态呈多种类型，Ⅰ型根管比例最高（图 6–14），约为 86.8%，Ⅱ、Ⅲ、Ⅳ型根管合计约为 13.2%。但在Ⅰ型根管中，真正竖直走行的根管只约占 39.0%，大部分根管为弯曲状态，因此在根管预备时，比上颌尖牙的根管要复杂。下颌尖牙根管弯曲方向既可以呈近远中向弯曲，也可以呈唇舌向弯曲，以近远中向弯曲的根管最常见。此外，还有部分呈 S 状弯曲，虽然其发生率只有 2.52%，但 S 状弯曲的根管增大了根管预备的难度和风险。

下颌尖牙根管弯曲形态比较常见，与上颌尖牙的根管形态有明显的差别。如果将上下颌尖牙的根管形态进行比较，除了弯曲方向不同外，弯曲发生的部位也是值得临床医师关注的问题。研究结果表明，下颌尖牙根管近远中向弯曲可以发生在牙根内的任意一段，而唇舌向弯曲目前只发现位于根中 1/3 段和根尖 1/3 段，但两者的共同点是均以在根尖 1/3 段所占比例最高。表 6–12 是根管弯曲方向和所占比例的统计。

表 6–12 下颌尖牙主根管弯曲方向及位置的比例分布（%）

弯曲方向	根尖 1/3 段	根中 1/3 段	根颈 1/3 段
近远中向弯曲	60	33.3	6.6
唇舌方向弯曲	73.7	26.3	0

根管弯曲方向不同，弯曲位置也存在差异，以上结果显示的是定性描述，能否进一步做定量分析，比较它们在弯曲度上具体值有何差异，结果见表 6–13。

表 6–13 下颌尖牙根管弯曲度的定量分析

弯曲方向	平均弯曲度	最大弯曲度	平均弯曲长度	最大弯曲长度
近远中向	10.1°	26.1°	4.1mm	10.2mm
唇舌向	9.8°	28.1°	3.8mm	9.6mm

从表 6–13 可以看出，若将两组平均值进行比较，两者间虽然存在差异，但并不显著。有人认为用平均数研究根管弯曲并进行比较，这往往存在偏差，因为平均值不能描述多数根管弯曲的常见形态。如果要进行整体根管弯曲度的对比，最好将弯曲程度覆盖的范围和中间值一并展示给读者，让应用者对该牙位的根管弯曲程度和形态有一个整体的了解，然后作出判断。表 6–14 是下颌尖牙根管弯曲发生在群体内的调查统计结果，可供临床参考。

表 6–14 下颌尖牙根管弯曲及弯曲半径的定量分析

弯曲方向	弯曲度		弯曲半径		弯曲长度	
	中间值	最大值	中间值	最大值	中间值	最大值
近远中向	10°	44.6°	10.1mm	37.2mm	4.4mm	12.1mm
唇舌向	14.1°	44.6°	8.1mm	21.5mm	3.9mm	8.0mm

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

实质上在根管弯曲的描述中，由于引进了几何概念，其间往往存在理解上的差异。表 6–13 在临床应用交流更能被接受，而表 6–14 描述根管弯曲度还引用了弯曲半径的概念，这更适合对比研究，但在比较弯曲长度时，两者几乎可以达到统一。所谓根管弯曲长度系指根管弧形走行的距离，两表的结论值近似，可在应用中参考。

根管弯曲的意义涉及两方面，一方面在根管预备中，弯曲度大的根管容易造成台阶或者根管壁侧穿；另一方面是过度弯曲的根管在预备时可引起金属疲劳断裂，在选用制造器械的材料时，往往刚性和韧性不能兼备，这恰巧又是根管器械的关键之处，所以弯曲根管的出现，不论在根管的临床治疗操作中，还是在根管器械的设计中，均给人们提出了更高要求。

下颌尖牙除了 I 型根管外，还有其他一些根管类型，探索它们的类型和在人群中所占比例，以便在实际应用中参考。表 6–15 是有关下颌尖牙在人群中根管类型已出现的形态及所占比例。

表 6–15　下颌尖牙根管类型及比例（%）

	Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型	Ⅳ型	Ⅴ型	Ⅵ型	Ⅶ型	Ⅷ型	其他型
	1–1	2–1	1–2–1	2–2	1–2	2–1–2	1–2–1–2	3–3	
资料①	65.3	21.1	0	7.7	3.4	0	2.5	0	0
资料②	95.94	2.71	0.45	0.45	0.45	0	0	0	0

从表 6–15 可知，根管类型中最常见的是 1–1 型，虽然两组来源的统计结果差异较大，但在人群中以 1–1 型为主要形态，对于 2–2 型根管的统计结果也差异较大。根管类型的另一形态是单双混合型，其中 1–2 型和 2–1 型虽然其形态有相似之处，但两者治疗操作复杂程度有差别，2–1 型的根管在预备中相对容易进行，这已在切牙根管形态中讨论过，但单双混合型的发生位置仍有必要进行探索（表 6–16），因为在不同位置的根管分与合均可影响操作的便利程度。

表 6–16　下颌尖牙 2–1 型和 1–2 型根管分合位置的比例分布（%）

根管类型	根颈 1/3 段	根中 1/3 段	根尖 1/3 段
2–1 型	0	100	0
1–2 型	0	100	0

表 6–16 的统计结果清楚显示，下颌尖牙的 2–1 型融合和 1–2 型分叉的位置只发生在根中 1/3 段内。无论是先为双根管后合并还是先为单根管后分叉，均只发生在牙根的中段，这与前面述及的下颌切牙单双混合型根管不同，是否在下颌尖牙才有这样的规律，还有待进一步研究。

下颌尖牙的根管系统形态中，侧副管的出现几率为 31.2% ~ 47.5%，最常见的侧副管仍是根管侧支、根尖分叉和根尖分歧（表 6–17）。虽然在调查中有管间吻合形态出现，但发生率不足 1%，从三处资料的统计结果显示，不同地方的居民的侧副管发生率也有差异。

表 6–17　下颌尖牙侧副管的形态及发生率（%）

	根管侧支	管间吻合	副根管	根尖分歧	根尖分叉
资料①	22.94	0.92	0	5.2	6.42
资料②	25	0	0	0	0
资料③	19.46	0	0	21.27	15.38

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

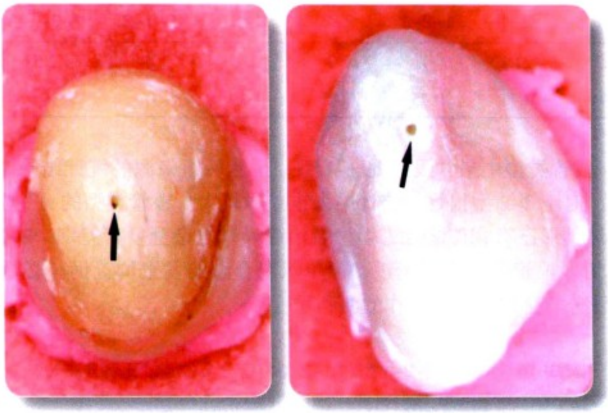
在侧副管的形态中，下颌尖牙始终没有出现副根管形态，而根管侧支仍是主要的根管系统结构，根管侧支出现的位置以根尖1/3处最常见（表6-18）。

表6-18 下颌尖牙根管侧支出现部位的发生率（%）

出现部位	根颈1/3段	根中1/3段	根尖1/3段
发生率	0.92	3.67	18.25

三、根尖孔与侧孔

下颌尖牙的根尖孔只有两种形态，即圆形和椭圆形（图6-15）；孔径约为0.13～1.08mm，平均为0.40mm。研究显示，根尖孔位于根尖顶点者约占50.5%，另近半数（49.5%）的根尖孔偏向根尖段的任意一侧。



（A）　　（B）

图6-15 下颌尖牙的根尖孔形态与位置

（A）椭圆形，位于根尖顶点（B）圆形，位于侧面

下颌尖牙的侧孔也只有两种形态，即圆形和椭圆形，它们开口位于根尖顶点或偏离顶点，绝大多数位于根尖段某一侧。不过两种形态的孔径各异，圆形的侧孔平均值为0.16mm，椭圆形的侧孔最大直径平均为0.21mm。有学者测量报道侧孔的最小直径只有约0.06mm，最大的直径可达0.76mm。

（杜昌连）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第七章

上颌前磨牙髓腔形态

前牙组的髓腔形态相对单一，并且它们之间存在众多共同特征，只要了解这些形态规律，就可在临床操作中很容易地实施治疗。然而前磨牙组的髓腔形态彼此之间共性甚少，对于每一个牙位的髓腔形态而言，它们几乎均有各自的形态特点。对前磨牙的髓腔形态研究开展最早，资料也较详细，究其原因之一是前磨牙的样本较容易获得。

上颌前磨牙髓腔形态的共同特征是：①髓室的颊舌径明显大于近远中径，髓室在横切面上呈现缝隙状（图 7–1）；②髓室顶底之间的距离较大，故从䂘面开髓后落空感明显。由于髓室近远中径过于狭窄，使得探查器械的锐端近远中方向自由滑动受到限制，这与前牙揭开髓室顶后寻觅根管的感觉存在明显差别，并且上颌前磨牙出现双根管或多根管的几率较大。因此，对于这种髓室底狭窄、视野欠佳、操作器械又易受限制的多根管牙实施根管治疗，其难度已明显增加。



图 7–1　前磨牙髓腔颊舌向切面、水平切面、近远中向切面观

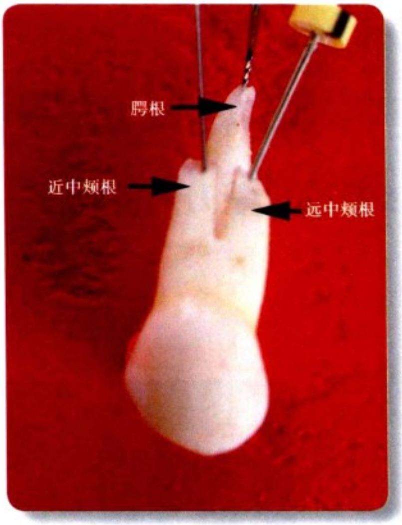
第一节　上颌第一前磨牙髓腔形态

上颌第一前磨牙是前磨牙中体积最大者，牙根呈扁形，半数在根中或根尖 1/3 分为颊舌两根，偶见三根（图 7–2）。当牙根为双根或三根时，其根管形态相对简单；而单根牙的根管形态多变，根管类型复杂。国外有资料表明，上颌第一前磨牙经过根管治疗的比例占 15.2%，居全口牙第二位，仅次于下颌第一磨牙；而且随着正畸、修复技术的进步，学者们认为保留第一前磨牙能保持患者良好的面型和微笑的魅力，因此，掌握上颌第一前磨牙的髓腔形态具有重要意义。

一、髓　　室

上颌前磨牙髓室形态与前牙组髓室形态明显不同，其空间构筑外形似箱状，多有六面髓室壁。上颌第一前磨牙的髓室除有沿牙体长轴的四个轴面外（颊面、舌面、近中面、远中面），另外，还有一个髓室顶（毗邻䂘面）和一个髓室底（毗邻牙根），共计六面（图 7–3）。所不同的是该牙的髓室底在自然方位的上方，而与此相对的髓室顶则在下方，这种形态特点在描述时往往容易与正常的解剖方位混淆。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）



（B）

图 7–2 上颌第一前磨牙三根三管型

（A）牙体外形颊面观（B）X 线片显示根管

髓室顶上有两个髓角（颊侧髓角和舌侧髓角），分别凸向颊尖和舌尖，与颊舌两尖斜向对应，即颊侧髓角斜对颊侧牙尖，舌侧髓角斜对舌侧牙尖。颊侧髓角较高，接近牙冠的中 1/3，舌侧髓角较低，接近牙冠颈 1/3 处；髓室顶的中部凸起，最凸出部位约平颈缘，在颊舌切面上，呈髓室顶凸出在颊舌两髓角之间（图 7–3）。

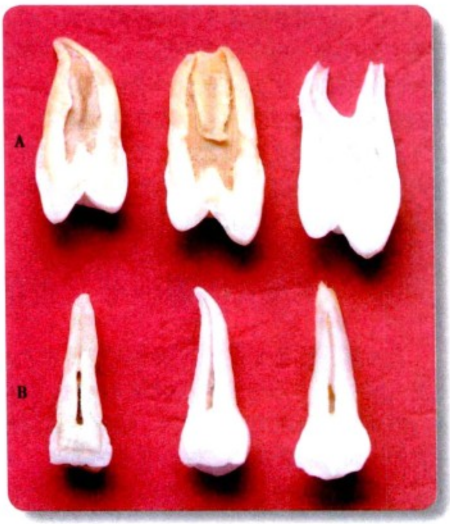


图 7–3 上颌第一前磨牙髓腔纵切面观

（A）颊舌向切面（B）近远中向切面

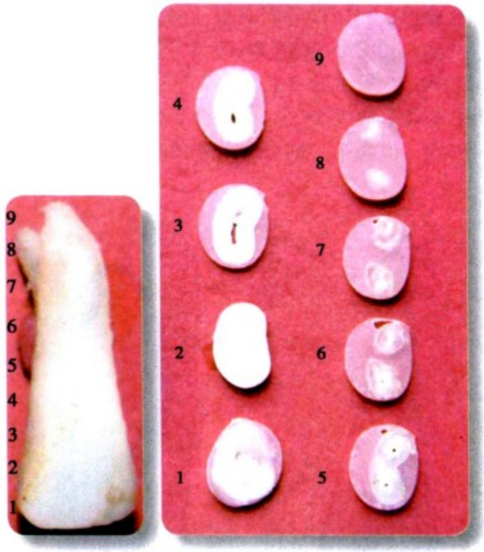
四面轴相髓壁中，近中髓壁和远中髓壁较宽，颊侧髓壁和舌侧髓壁较窄。在围成的髓室横切面，呈一缝隙状。由于近远中髓壁向髓室稍凸，在髓室底的横切面上常呈哑铃状（图 7–4）。

通常上颌第一前磨牙髓室顶 – 底间距较大。若以颈线为参照，髓室底多位于颈线上方，有部分髓室底平齐在根颈 1/3 段内。髓室的形态和容积通常与根管数有关，因为根管数目与形态直接关系髓室底根管口的多少和排列分布。单根管的上颌第一前磨牙髓室与根管相移行，根管口形似漏斗状，无髓室底，而双根管的上颌第一前磨牙髓室底中部常有向殆面方向形成的丘状隆起，三根管的髓室底形态则更为复杂。与磨牙髓室底相比，上颌前磨牙的髓室底呈平滑延展的形态则较少见。

上颌第一前磨牙的根管口数目与该牙的根管形态有关，而根管形态又与牙根外形之间有密切联系。在上颌第一前磨牙的髓室底上可以见到 1 ~ 2 个根管口，偶尔也可见到 3 个根管口，与相应的根管相通。

上颌第一前磨牙的牙根有单根和双根形态，所以根管数目与牙根数目的组合排列可形成根管口的多种类型，这对开髓后根管口的寻觅增加了难度。资料显示该牙也有 3 个牙根，虽然在人群中比例不高，

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　（B）

图 7-4　上颌第一前磨连续水平切片

（A）上颌第一前磨牙颊面观（B）上颌第一前磨牙横切面观

但理论上在髓室底至少应有 3 个根管口。欧洲、美洲和亚洲的居民上颌第一前磨牙也可出现 3 个根管口，这为根管治疗术中能否预先了解根管口的数目增加了不确定因素，为了从该牙的牙根数目间接推导可能存在的根管口多少（如两根形态最少应该存在 2 个根管口），本节对上颌第一前磨牙的牙根在人群中分布列表统计（表 7-1），以供临床治疗参考。

表 7-1　上颌第一前磨牙牙根数目统计（%）

资料来源	被统计人群	牙根数目及比例		
		单根	双根	三根
Chaparro	安达卢西亚人	40	56.7	3.3
Peora	巴西人	55.8	41.7	2.5
Coh	新加坡人	—	50.6	—
Aoki	日本人	65.7	34.3	0
国内学者	资料①	—	33.7	—
	资料②	54.6	45.4	0
	资料③	—	79.4	—

二、根管系统

根管数往往与牙根形态和数目有关，通常单根的上颌第一前磨牙内有一条贯通整个牙根的根管［图 7-5（A）］，但扁形的单根内可能存在两条根管［图 7-5（B）］，而且上颌第一前磨牙往往有一定比例双根存在，此时牙体内至少有两条根管［图 7-6（A）］，因此该牙常见有 1～2 条根管。出现双根管的牙根

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

在外形上有如下特点：①扁形单根，在牙根邻面有根面沟者更易出现双根管；②牙体外形本身就为双牙根，即双根双管[图 7-6（A）]；③根部出现根分叉者[图 7-6（B）]。根据 ChaParro 的研究，在 500 颗上颌第一前磨牙中单根占 40%，双根占 56.7%，三根占 3.3%；Pecora 的观察结果与此结论略有不同，他在 240 颗上颌第一前磨牙中发现单根占 55.8%，双根占 41.7%，三根则占 2.5%。若该牙为三根形态，则牙根管数也应该是三管，因此，上颌第一前磨牙的根管应该在人群中大多数是双根管，甚至是三根



（A） （B）

图 7-5 上颌第一前磨牙根管类型

（A）单根单管（B）单根双管



（A） （B）

图 7-6 牙根形态与根管的关系

（A）双根双管（B）根分叉与双根管

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

管。在国人的牙根外形统计中也认为约 80% 个体在牙根中部或在根尖 1/3 处分为颊舌两根。有人还注意到上颌第一前磨牙的牙根数与性别存在某些联系，观察统计的结果是男性单根牙占 33.58%、双根牙占 62.68%、三根牙占 3.73%，女性则单根牙占 66.67%、双根牙占 33.33%，在样本中未见女性有三根的上颌第一前磨牙。

前磨牙髓腔形态是研究资料较为丰富的牙位之一，究其原因与研究的样本较容易获得有关，恒牙髓腔形态观测早期都以上颌前磨牙为样本，特别是根管计数和分型。上颌第一前磨牙的牙根外形多变，且根管又在一定区域内有形态和数目的变化。曾经将髓腔形态看成是牙体外形缩影的结论，现已不适合其根管的描述。上颌第一前磨牙根管系统的结构复杂，如根管侧支、根尖分歧、管间吻合等结构广泛存在。

在前牙描述过的根管形态和根管分类都发生在单根牙，在单牙根内的根管多为单根管，或者极少比例的双根管；然而上颌第一前磨牙外形特殊，除了单根外还有双根，甚至出现三根，那么只要每个牙根内有一条根管，上颌第一前磨牙就有可能是双根管或者三根管；若其中一个牙根内为双根管，该牙的根管数也可能是三根管。早期对上颌第一前磨牙的根管分型因为受到研究资料的局限，将该牙的根管划分为单管型、双管型和单双混合型三类，每型各占的比例分别为单根管型占 16%、双根管型占 60%、单双混合型占 24%。随着对上颌第一前磨牙根管系统形态研究的深入，人们发现单根管在行进中有分叉，双根管在行进中有合并，因此，用单、双根管的命名已不能明确表达根管的空间结构形态，这对临床应用也不方便，如文字描述为单根管，但在实际形态中却存在有根管分支。表 7-2 是国内外对上颌第一前磨牙主根管的研究结果，可供在临床实践中参考。

表 7-2　上颌第一前磨牙根管类型及比例（%）

	根管分型 / 根形	Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型	Ⅳ型	Ⅴ型	Ⅵ型	Ⅶ型	Ⅷ型	其他
国人资料①	单根	6.18	17.98	4.49	65.17	0	3.93	0	1.12	1.13
	双根	100	0	0	0	0	0	0	0	0
国人资料②		24.74	26.58	0.53	37.10	6.84	3.42	0.26	0	0.53
国人资料③		40.0	20.0	6.7	0	20.0	0	0	0	13.3
蒙古族居民资料	颊侧根	13.3	—	—	—	—	—	—	—	—
	舌侧根	13.3	—	—	—	—	—	—	—	—
国外资料		8.0	18.0	0	62.0	7.0	0	0	5.0	0

从表 7-2 可以看出，在研究上颌第一前磨牙的根管形态时，有人在划分了牙根形态后统计根管类型；有人则排除牙根形态，单一统计根管类型；有人则研究较细致，双根牙还区分了颊、舌侧根管再统计类型。然而目前还没有一个既可以表达该牙根形态，又可反映其内根管类型的科学描述方法，这显然受到该牙复杂根外形的影响。如果不计牙根形态，只重视根管类型，在实际应用中往往丢失诸多有用信息。如同样是双根管型，但单根双管和双根双管在髓室底的根管口距离是有差别的，因为两者间髓室底外形不同。若为双根双管，髓室底的两根管口相距较远，髓室底中部凸起或平缓，但在单根双管中，两根管口的间距较近，使得髓室底呈一漏斗状（髓室底中间凹陷），当根管预备时，治疗器械容易滑进同一根管内，而遗漏另一根管。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

根管形态在统计学上的差异是否真实存在，答案应该是肯定的，但其中可能也存在许多人为的扩大成分。因为分类标准不同和统计理念差别均可产生结果差异，例如 Nevin Kartal 在统计 600 例上颌第一前磨牙的根管形态后，除了将Ⅰ型（1–1）单独计算外（8.66%），其他则将Ⅱ型（2–1）和Ⅶ型（1–2–1–2）两型合并统计（89.64%），又将Ⅷ型（3–3）和Ⅳ型（2–2）型合并处理（1.66%），这可能是作者在观念上认为Ⅱ型和Ⅶ型的根管在处理上相似，Ⅷ型和Ⅳ型在形态上相近。但实际上使得上颌第一前磨牙的根管形态在研究结果之间的可比性降低，因此，只有归类标准一致时才能揭示其间的差异，同时分类标准越细腻才越有可能找出差异和规律。如果将其形态归类过分简约，它们之间的某些细微差别就会人为缩小。

上颌第一前磨牙根管在临床应用中，有时因为牙根外形而影响对根管空间构形的判别，如该牙的牙根外形为不全分叉型（两根呈颊舌向排列），其中一牙根内是单管，而另一根内为双管，此时根管数目便是三根管（双根三管）。X 线投照由于受角度限制，使显示的根管影像重叠而误判，治疗中遗漏根管，最终导致根管治疗不彻底。如果 X 线存在疑问，那么仔细辨别髓室底的形貌，也可以辅助鉴别根管数目。有人总结经验后指出，如果牙根内只有一条根管贯通其内，通常情况下根管口位于髓室底的中央部位；若发现根管口偏向一侧，哪怕只见到一个根管口，也不能排除其他根管口存在的可能性。

上颌第一前磨牙的根管分型中，有两种类型根管对操作者易产生困惑，即 2–1 型根管和 1–2 型根管。虽然这两种类型的根管均在根实质内构成岔道，但岔口的方向不同和构成岔口的位置差异对治疗操作影响也不尽相同。1–2 型根管的空间构筑其起始为单管，在行进中分为双管；2–1 型为起始是双管而在行进中合并成一条根管，在治疗操作中显然后者较前者容易，原因是 1–2 型根管内插入的器械进入 A 根管或 B 根管有盲目性，而 2–1 型由于在髓室底部可见两个根管口，器械进入 A 管或 B 管操作相对容易。但不论 2–1 型还是 1–2 型，在根内发生的位置不同，其根管治疗的难易程度存在差别，为此总结已有的研究资料将其介绍如下，供该类根管治疗时参照。表 7–3 是 2–1 型根管和 1–2 型根管在根内形态改变位置的统计。

表 7–3 上颌第一前磨牙 2–1 型和 1–2 型根管分合位置的比例分布（%）

根管类型	根颈 1/3	根中 1/3	根尖 1/3
2–1 型	1.98	67.33	30.69
1–2 型	3.85	57.69	38.46

统计显示，在上颌第一前磨牙的实质内不论发生根管合并还是根管分叉，最易发生的部位是在根中 1/3 段，其次才是根尖 1/3 段。虽然在根颈 1/3 段也存在根管的合并或分叉现象，但比例是很低的，不足 5%。

有经验的操作者，在未使用 X 线辅诊前，可以预估其根管是 2–1 型还是 2–2 型，这主要是观察髓室底上两根管口的距离作出的推测，如果髓室底上的根管口的距离大于 3mm 以上，其连通的两条根管可能各自独立的直达根尖，分别开口于两根尖孔。当距离小于 3mm 时，很可能行进中的两根管在牙根实质内合并成一条根管，并开口于一个根尖孔。经验告诉我们，在髓室底两口相距越近，在根内合并的几率越大，并且发生合并的位置可能越靠近根颈部。

上颌第一前磨牙的根管系统形态研究显示，侧副管在人群中出现的几率似乎有地域差异，国内曾有学者统计约有 66.05% 的个体有侧副根管，但另一些研究者在蒙古族居民中统计结果低于该比例，约为 40%。也有学者指出，国人侧副管的发生极为普遍，在人群中上颌第一前磨牙的主根管与侧副管产生的比例约为 1.5 : 1。国外资料（Vertucci）对侧副管发生率的统计结果为 49.5%。

侧副管是一组形态各异又连通主根管的细小隧道，侧副管的所有形态并非同时发生在某一牙体内，但在同一牙体内可以有数个形态并存。研究结果显示上颌第一前磨牙的侧副管形态中，主要还是以根管

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

侧支、根尖分叉、管间吻合（图 7–7）常见。为了使大家了解上颌第一前磨牙侧副管的发生率，现将国内外该牙侧副管的概况归纳总结（表 7–4）。

表 7–4　上颌第一前磨牙的侧副管形态及发生率（%）

根形		根管侧支	管间吻合	副根管	根尖分歧	根尖分叉
双根	颊根	14.19	0	0	1.35	10.81
	舌根	12.16	0	0	0.68	2.03
单根		23.03	21.91	0	3.37	10.11
国外资料		35.79	28.16	1.32	10.26	9.74

从表中的数据可以看出，根管侧支不论是单根牙还是双根牙，均是侧副管中的主要形态结构，而管间吻合只有单根双管形态结构才会出现，这表明扁形单根的上颌第一前磨牙根管预备时应谨慎，因为它们出现双根管的几率较大。在国内资料中，双根的上颌第一前磨牙出现三根管几率低，这源于双根中任意一根内双管几率低，所以资料显示双根双管的上颌第一前磨牙几乎不出现管间吻合形态。该牙的另一特点是国人的上颌第一前磨牙缺少副根管结构，但国外的资料有这方面的记录。表 7–4 虽然记录只有 1.32% 的发生率，但在另外的统计资料中它高达 11%，这是否为民族间存在的差异，现在还不清楚，因为对副根管的定义国内外可能有不同。所谓副根管一定是该管道一端起于髓室底部（髓室底有副根管口），管道穿行一段牙本质后，另一端则开口于根颈 1/3 段牙根表面或根分叉区（开口称副孔）。根据定义，那些从根管直接分出的通道应称为根管侧支，而非副根管结构。国内目前虽然没有上颌第一前磨牙副根管记载，却有旁管的描述。上颌第一前磨牙的旁管出现几率并不高，在所抽样研究中发生率约为 1%，这远远低于根尖分歧或根尖分叉的任一结构形态比例。但它们的临床意义十分重要，因为它发于主根管，走行一段距离后又回到主根管，并且与主根管之间常有拐角，管径又细，这是根管预备中最易残留感染组织的空间。

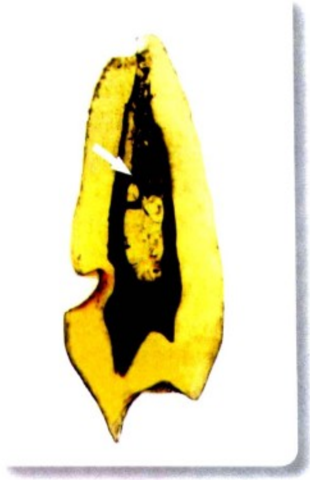


图 7–7　上颌第一前磨牙管间吻合
（网状吻合）

上颌第一前磨牙根尖分叉的比例高于根尖分歧，更有趣的是这两种常见的侧副管形态在单根管的出现几率要高于双根管的出现几率，可以推论在临床根管充填治疗中，单根形态的上颌第一前磨牙根尖末端封闭困难程度要高于双根型的上颌第一前磨牙的根管末端封闭程度。

综合侧副管的研究资料，以国内的归类较详细，而国外学者在统计侧副管的发生几率时，很少注意牙根与根管之间的相互关系，但从表 7–4 中依然可以发现上颌第一前磨牙根管侧支发生率很高，约为 35.79%；该牙出现管间吻合也很普遍，在单根双管中它约占抽样的 28.16%。因此，我们可以得出一个结论，只存在主根管，而缺乏侧副管的上颌第一前磨牙在人群中是比较少见的，即该牙的每条主根管都有可能并存侧副管的某一种或多种类型。

在侧副管中，根管侧支是常见的根管系统结构形态，进一步研究显示根管侧支的发生部位存在差异，不论单根型还是双根型，出现根管侧支几率最高位置在其根尖 1/3 段，具体见表 7–5。

以往调查还显示上颌第一前磨牙的根管侧支发出部位，可因调查人群的地域不同而存在差异，上述只反映在同一区域人群中根管侧支发出部位的不同，因而在应用中仅作参考。上述统计结果显示从上颌第一前磨牙的根尖 1/3 段发出根管侧支最为普遍，根中 1/3 段发出的侧支较少，而根颈 1/3 段发出侧支则

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

更少见。另一些学者得出的研究结果正好与此相反，上颌第一前磨牙从根颈1/3段发出的根管侧支为主要特征，其次才是根中1/3段，根尖1/3段没有根管侧支发出。两种完全相反的结论是否真实反映居民间体质差异，目前还不清楚有无其他因素的影响，一切都有待进一步的研究。

表7-5　上颌第一前磨牙根管侧支出现部位的发生率（%）

根形		根颈1/3	根中1/3	根尖1/3
双根	颊根	0.68	2.03	11.49
	舌根	0.68	2.03	9.46
单根		1.12	2.25	19.66

三、根尖孔与侧副孔

上颌第一前磨牙的根尖孔在外形上多为圆形和椭圆形（图7-8），根尖孔的直径平均约为0.33mm。由于根尖孔也受年龄因素的影响，同时个体间的差异也普遍存在，因此，有人测量该牙根尖孔的最大直径和最小直径分别是1.19mm和0.13mm。根尖孔的位置并非全位于根尖顶点处，Nevin Kartal调查上颌第一前磨牙的根尖孔后认为，该牙约84.66%的根尖孔位于根尖段的某一侧，其原因有人解释这与该牙根的弯曲形态有关。正常情况下，根尖孔位置的确定有以下三种情形：①该牙牙根较直，其内的根管也较直，此时根尖孔恰好位于根尖顶点；②牙根和根管稍弯曲，但两者弯曲一致，此时根尖孔与根尖顶点可能有较短距离；③根管与牙根弯曲方向不一致，此时根尖孔侧出，与根尖顶点距离较远。有人调查中国人的根尖孔位置发现，约有11.39%牙根较直的上颌第一前磨牙的根尖孔位于根尖顶点，并且还有17.39%的牙根稍有弯曲者，根尖孔也位于根尖顶点。偏离根尖顶点的根尖孔，最大距离可达2.32mm，统计显示约33.99%的上颌第一前磨牙的根尖孔在距根尖顶点约1 mm内，有人计算其平均距离为0.88mm。



（A）　　（B）

图7-8　上颌第一前磨牙的根尖孔形态与位置

（A）两根尖孔均呈椭圆形，位于根尖顶点（B）a. 圆形，位于侧面；b. 椭圆形，位于侧面

侧副孔的数目与侧副管之间并非成对应关系，因为管间吻合没有侧孔，同时根尖分歧或根尖分叉往往不只一个侧孔，这已被众多研究资料证实。上颌第一前磨牙侧副管的发生率平均约为66.05%，因此，

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

侧副孔的发生率也应不少于此比例。上颌第一前磨牙的侧副孔直径平均为 0.19mm，其中最大直径和最小直径分别是 0.56mm 和 0.06mm。若将上颌第一前磨牙的根尖孔直径与侧副孔直径进行比较，该牙的根尖孔直径平均值（0.33mm）大于侧副孔直径的平均值（0.19mm）。

第二节　上颌第二前磨牙髓腔形态

上颌第二前磨牙的牙根外形可分为单根和双根形态，后者出现的比例较低，抽样统计显示双根形态约占 15.08%，而单根形态则占总体的 84.92%。但是该牙出现双根管的比例则要高于双根的比例，这是由于该牙的单根也可出现双管类型 [图 7–9（A）]，或该牙本身就是双根双管 [图 7–9（B）]。上颌第二前磨牙的髓室形态与上颌第一前磨牙的髓室形态相似，可以有六面髓壁，也可以只有五面髓壁，这取决于髓室底上的根管口。在髓室的水平切面上四壁仍围成一条狭窄的缝隙状（图 7–10），因此，在揭开髓室顶后，探寻根管口的器械易受限制。



（A）　　（B）

图 7–9　上颌第二前磨牙根形与根管型

（A）单根双管（B）双根双管

一、髓　　室

上颌第二前磨牙的髓室近中髓壁和远中髓壁宽于颊侧和舌侧髓壁，四面轴相髓壁的平均厚度约为 2mm，颊侧壁可厚达 2.23mm。四面髓壁围成的髓室切面颊舌径大于近远中径（图 7–10）。在水平切面上，近中髓壁和远中髓壁较平缓，向髓室隆起不显著。髓室顶在中部凸起，最厚处可达 5.13mm，在颊 – 舌切面上可以见到两个髓角分别凸向髓室顶，斜对着该牙𬌗面的颊舌两尖（图 7–11）。两髓角的空间高度相近，没有像上颌第一前磨牙两髓角那样有明显的高低差异。

髓室底形态与上颌第一前磨牙髓室底形态相似，髓室底存在与否取决于根管口的形态和数目。若该牙为单根管时，根管口呈漏斗状，因而看不见明显的髓室底结构，髓室与根管间相互移行；只有存在多个根管口时才具有髓室底。在临床实际操作中，人们总结出在髓室底根管口的分布与寻找根管的关系，值得在实际应用中参考：

1. 髓室底只有一个根管口，且根管方向与牙体长轴一致，此结构多为单根单管型；
2. 髓室底有一个根管口，但进入根管的方向可能偏颊侧或舌侧，此时该牙的根管可能为单双混合型；

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

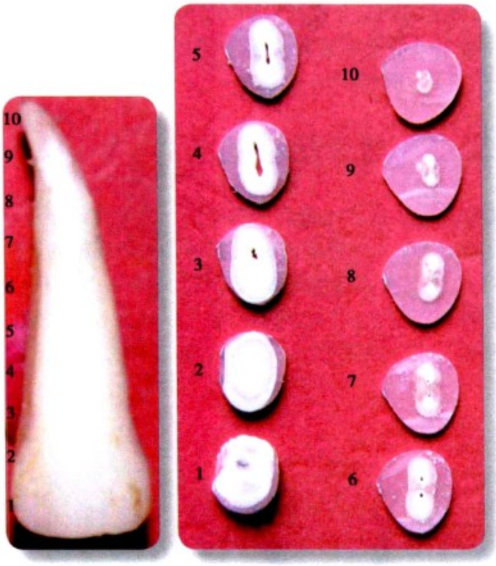


图 7-10 上颌第二前磨牙连续水平切片

(A) 上颌第二前磨牙颊面观 (B) 上颌第二前磨牙横切面观



图 7-11 上颌第二前磨牙髓腔纵切面观

(A) 颊舌向切面 (B) 近远中向切面

3. 在髓室底有两个根管口，探入根管内分别平行于牙体长轴，此时根管的类型可能为单根双管或者为双根双管。

4. 在髓室底若遇两个根管口，探入的感觉是根管向中心相交，此时可能遇到的根管结构是单双混合型。

由于上颌第二前磨牙有单根和双根两种类型，因而该牙髓室底的面积大小也可因牙根数目多少而变化。其中双根型的上颌第二前磨牙髓室底面积较单根型面积宽大，并且在髓室底上至少是两个根管口，这与在牙根表面有分叉痕迹的牙根内常出现两个根管有所不同，前者的髓室底在颊舌方向距离较宽，因此，当使用器械寻觅根管口时，自由滑动的空间更大，为了不遗漏可能存在的根管口，应该尽可能沿颊舌侧髓壁垂直探入，然后向中间区滑动。

二、根管系统

早期对上颌第二前磨牙根管的认识仅限于单根管和双根管，有人著文称该牙以双根管多见，人群中约 58% 为双根管。认为双根管有如此高的比例基于以下理由：上颌第二前磨牙双根在人群中有 15% 的比例，这部分人应存在 2 条根管；另一部分人该牙根表面存在根分叉痕迹，此类形态的牙根内也多为双根管类型。研究上颌第二前磨牙根管形态的学者还得出结论，该牙的根管无论是单根管或是双根管类型，它们在根尖 1/3 段内有较大弯曲，弯曲方向多向远中或颊侧。

国内调查显示 37.3% ~ 44.8% 的上颌第二前磨牙根管完全呈单根单管型，国外的统计结果平均约为 48%。然而人们在治疗失败的牙体研究中发现，上颌第二前磨牙的根管形态远比我们了解的形态复杂，任何在其他牙内出现的根管类型，在上颌第二前磨牙内均可出现。所以原来统计该牙的单根管占 48.48%、单根双管型占 18.79%、单双混合型占 28.48%、双根双管型占 4.25% 的结果，需要进一步更细致的研究。

以下是国内外多位学者研究上颌第二前磨牙根管类型在样本中出现的比例，从中可以看出它们的形态及类型的多样性（表 7-6）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

表 7-6　上颌第二前磨牙根管类型及比例（%）

		Ⅰ型	Ⅱ型	Ⅲ型	Ⅳ型	Ⅴ型	Ⅵ型	Ⅶ型	Ⅷ型	其他型
资料①	单根	33.94	30.53	1.89	19	6.54	5.30	2.18	0.62	0
	双根	100	0	0	0	0	0	0	0	0
资料②		44.78	28.57	0	21.24	1.93	1.16	0	1.16	1.16
资料③		37.39	26.09	0	24.35	—	—	—	—	—
国外资料①		48.66	50.68	0	0	0	0	0	0.66	0
国外资料②		48.0	22.0	0	11.0	0	0	0	0	—

表 7-6 可以反映出一个事实，国内外学者的研究结果均显示上颌第二前磨牙的根管类型以 1-1 型、2-1 型和 2-2 型分布最为普遍，其他形态分类虽然在样本中出现，但出现比例很低，不是主要的形态结构。

在根管类型中，Ⅱ型（2-1）根管的融合位置及Ⅴ型（1-2）根管的分叉位置是操作者常关注的结构形态。我们在反复强调一个事实，虽然在外形上有近似之处，但两者的治疗操作困难程度则有较大差别。在非直视情况下纯粹凭操作者的手感，要求每次器械可以准确地进入同一条根管内，目前我们的技术条件还很难达到，而且 1-2 型根管在根内的分叉高度也直接影响该型根管的预备，从理论上分叉处越接近髓室底的 1-2 型根管越容易人为控制。基于此将上颌第二前磨牙 1-2 型根管的分叉高度在人群中分布加以总结，以供实际操作时参考。研究结果显示 1-2 型根管的分叉高度在根中 1/3 的比例最大，其次是在根尖 1/3 处，在颈段 1/3 内十分罕见。1-2 型根管分叉位置的具体分布比例见表 7-7。

表 7-7　上颌第二前磨牙 1-2 型根管的分叉位置及比例（%）

分叉位置	根颈 1/3	根中 1/3	根尖 1/3
比例	0	80	20

Ⅱ型根管（2-1）的治疗较Ⅴ型根管（1-2）容易，但与Ⅰ型根管（1-1）的治疗过程相比较复杂。首先是寻觅根管口，再辨别根管融合的位置，这些需要在工作中逐渐积累经验，训练寻找根管的手感。我们可以从抽样调查中大致了解 2-1 型根管融合位置在人群中的分布状况（表 7-8），这些可作为临床实践中的参考。

表 7-8　上颌第二前磨牙 2-1 型根管融合位置及比例（%）

融合位置	根颈 1/3	根中 1/3	根尖 1/3
比例	10.31	63.51	25.68

从表 7-8 可以得知，2-1 型根管的融合位置在上颌第二前磨牙牙根内任意一段均可能发生，这点与 1-2 型根管的分叉发生位置不同。虽然颈 1/3 段有双管融合形态出现，但比例相对较低（10.31%），两管融合的位置比例最高处仍在根中 1/3 段，高达 63.51%，这表明该牙根的双管合并位置有半数以上发生在根中部。

综上所述，上颌第二前磨牙根内的 2-1 根管融合位置，可以发生在该牙牙根内的根颈 1/3、根中 1/3 或根尖 1/3 任意一处，但总体而言其在人群中所占的比例只有约 28.6%，虽然较Ⅴ型（1-2 为 1.93%）高得多，但 2-1 型根管的预备时操作过程远较 1-2 型根管容易。

人们在研究上颌第二前磨牙根管系统时，发现该牙侧副管的发生率约为 46.8%。在侧副管形态中又

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

以根管侧支、管间吻合、根尖分歧和根尖分叉等形态为主，这些侧副管形态几乎占全部研究样本量的半数，其发生率参见表 7–9，供实际应用时参考。

表 7–9　上颌第二前磨牙侧副管形态及发生率（%）

根形	根管侧支	管间吻合	副根管	根尖分歧	根尖分叉
单根	48.91	9.66	0	15.89	1.87
双根	35.09	0	0	8.77	10.53

从表 7–9 可以看出，不论双根还是单根的上颌第二前磨牙的侧副管形态，根管侧支的发生比例最高，同时也发现无论是单根或双根类型均未出现副根管形态，这表明副根管形态在上颌第二前磨牙罕见。研究结果显示管间吻合只存在于单根形的上颌第二前磨牙，表明单根双管型才具有构成管间吻合的结构基础（图 7–12）。

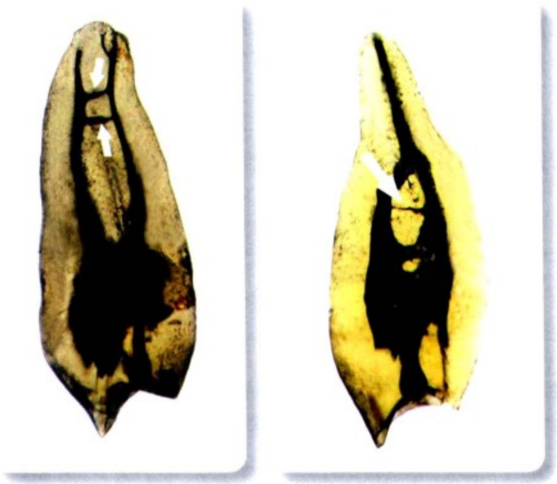


图 7–12　上颌第二前磨牙的管间吻合（单一吻合）

在上颌第二前磨牙的侧副管形态中，根尖分歧的发生率比根尖分叉高。但如果以牙根形态（单根或双根）来比较它们存在的状况，则又是另一种结果。双根形牙根根尖分叉的发生率要高于单根形，但单根形牙根根尖分歧的发生率要高于双根形。

根管侧支在上颌第二前磨牙的侧副管形态中出现几率最高，而且居民出生地的不同其几率大小有变化。研究显示根管侧支在侧副管的形态中占 19.1% ~ 50%。根管侧支从根颈至根尖全段均可发出，以根尖 1/3 段的根管侧支最为常见，根中 1/3 段次之，根颈 1/3 段最少，其具体可参照表 7–10。

表 7–10　上颌第二前磨牙根管侧支的发生率（%）

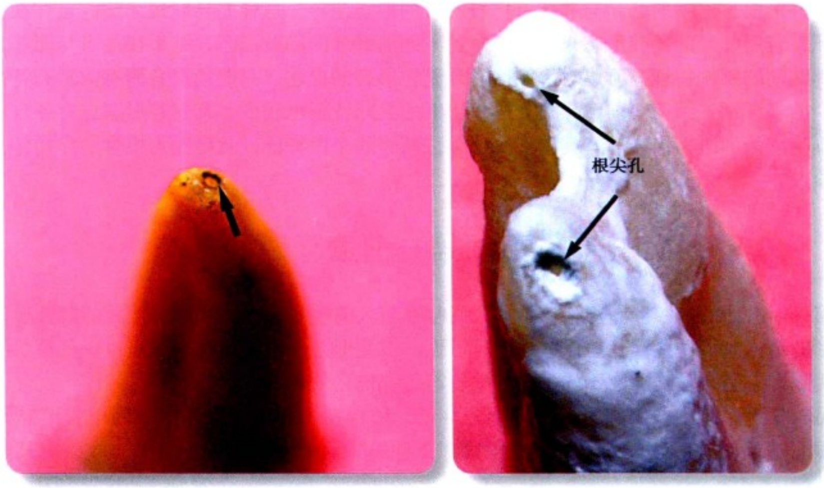
根形	根颈 1/3	根中 1/3	根尖 1/3
单根	2.18	6.54	40.19
双根	1.75	5.26	28.07

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

三、根尖孔与侧孔

有关上颌第二前磨牙的根尖孔形态和位置，是研究资料较多的牙位之一。然而事情往往有另一面，当资料越庞杂时出现的结果也就越多样化，在结论中有相互矛盾的地方也会出现，这些问题的解决只有通过更详细的研究才能最终明了。

上颌第二前磨牙根尖孔的常见形态仍为圆形和椭圆形（图 7-13）。统计显示圆形根尖孔占 64.13%，椭圆形根尖孔约占 33.70%，不规则形的根尖孔则只有 2.17%。于是人们给出的结论是上颌第二前磨牙的根尖孔 97% 以上为圆形或椭圆形，这合乎普遍结构规律，因为若根尖孔变形为缝隙状或不规则形，这对出入根尖孔的血管血液流量存在影响。测量显示根尖孔主孔径的最大值与最小值分别为 0.95mm 和 0.13mm，平均约为 0.38mm，显然孔径大小也存在变化，如增龄性因素的影响。



（A）　　（B）

图 7-13　上颌第二前磨牙的根尖孔形态与位置

（A）圆形，位于根尖顶点（B）两根尖孔均呈椭圆形，位于侧面

根尖孔位置的统计争议较大，有人抽样研究后认为，上颌第二前磨牙的根尖孔约 78.5% 位于根尖顶点。余下的根尖孔（21.5%）可位于在根尖段四个轴面的任意一侧，具体统计结果是位于根尖舌侧的约占 6.8%，位于颊侧的约占 5.7%，位于根尖近中的约占 6.8%，位于根尖远中的约占 2.2%。

一些学者研究认为位于根尖侧面的根尖孔在人群中约占 31.5%，分布在根尖段的四个轴面任意一侧，并认为没有再细分的必要；另一些学者在观察根尖孔位置时发现，78% 的主孔不在根尖顶点，这个比例似乎太高，但可以作为一种警示，在根管治疗中应引起重视。

侧孔多位于根尖段的某一侧面，这些开口通常较根尖孔小，孔径的范围在 0.06～0.81mm，平均直径约为 0.21mm，。虽然孔径较小，但外形仍以圆形和椭圆形为主要形态，比例高达 97.8%。

（魏明波　杜昌连）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第八章

下颌前磨牙髓腔形态

在牙体外形上，下颌前磨牙与邻牙有比较明显的形态差异，这种差异导致牙髓腔也存在不同的形态特征。因此，若用邻牙的髓腔形态来类比和阐述下颌前磨牙的髓腔形态，结果往往事与愿违，很难总结出它们之间共同的解剖特征，所以对下颌前磨牙髓腔形态的描述，只能从自身固有的形态特征着手。同时下颌第一前磨牙和下颌第二前磨牙在牙体外形上的共同特征也较少，其髓腔形态也有各自独特的空间结构，很难用统一的语言描述。若突出了每个牙位髓腔的个性特征，就更能为根管治疗操作提供清晰的髓腔形态参考。

第一节　下颌第一前磨牙髓腔形态

下颌第一前磨牙的髓腔形态与牙体外形之间存在较大的差异，以往我们将该牙的髓腔形态描述成牙体外形缩影的结论应该做些修正。该牙牙冠有五面，按此形态位于牙冠内的髓室也应呈箱状结构，然而该牙髓室实际形态呈穹隆状。位于牙根内的根管与传统描述的扁形单根管也不尽相同，实际上双根管类型并非罕见，根管系统中的侧副管形态也十分常见，使得在临床治疗操作中，因根管形态导致的治疗不彻底或根管遗漏时有发生。因此，临床医师在下颌第一前磨牙的根管预备中，应该对其髓腔形态加以重视。

一、髓　　室

下颌第一前磨牙的髓室位于牙冠的中 1/3 和颈 1/3 内，髓室底常低于颈线。下颌第一前磨牙的髓室并非呈立方体形，在髓室顶上有颊、舌两个髓角，颊侧髓角特别长，位于牙冠中 1/3，舌侧髓角短圆而不明显，接近牙冠颈 1/3（图 8–1）。髓室顶呈倾斜状，向舌侧偏斜并与舌侧的髓角相延续。在牙体纵轴向的磨片上，髓室顶呈圆形穹隆状，穹隆最高空间为颊侧髓角构成，舌侧髓角低矮而不明显，特别是在高龄后由于继发性牙本质沉积使得该髓角近乎消失。有研究指出，髓角在 20 岁左右时 X 线影像显得高耸明显，随着年龄的增长髓角会逐渐变平，最后呈圆弧状。在水平切片上，髓室呈卵圆形，颊侧髓壁宽于舌侧髓壁（图 8–2），并在与近远中髓壁交汇时，面与面之间呈抛物线形的渐进性过渡。



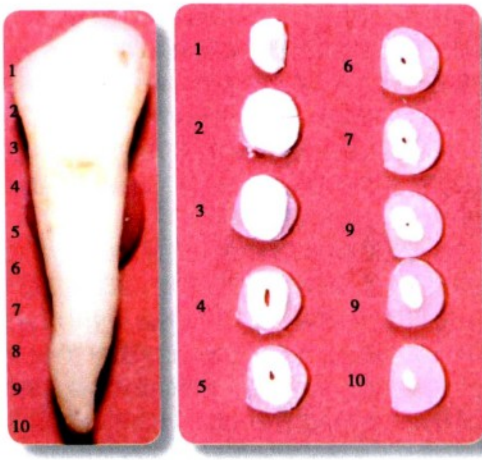
图 8–1　下颌第一前磨牙髓腔纵切面观

（A）近远中向切面（B）颊舌向切面

下颌第一前磨牙的髓室底形态多变。单根管的下颌第一前磨牙，髓室与根管相互移行，没有明确的界限，无髓室底，根管口较大。因此，下颌第一前磨牙只有存在多个根管口时才具有典型的髓室底。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

髓室的颊－舌径较宽而近－远中径较窄，当髓室与根管口过渡时，髓室的宽度为根管口直径的2倍，使得在X线上20岁年龄段的髓腔阴影呈一V形，而随着年龄的增大，此时阴影变成U形，导致影像形态改变的主要原因是根管口处的继发性牙本质沉积速度快于髓室壁的速度所致。根管口阴影的改变可以用于鉴识科学中分辨年龄的长幼，而且这是一种无损性的检测。



（A）　（B）

图8-2　下颌第一前磨牙连续水平切片

（A）下颌第一前磨牙颊面观　（B）下颌第一前磨牙横切面观

随着个体年龄的增加，继发性牙本质在髓腔面沉积，髓室的容积也会逐渐减小。研究显示在髓室的不同部位，沉积的牙本质量存在差异，因此，髓腔的空间外形随时间的改变，不但容积减小，同时形态也发生改变（非成比例地放大或缩小），这为髓室是牙冠外形的缩影提供了商榷空间。有关这方面的详细研究近年来逐渐引起了人们的重视，一份来源土耳其居民的研究资料显示，髓室壁的不同部位其面积减少的速度存在显著差异（$P<0.05$），他们在测量了三个年龄段的髓室顶、髓室近根管口处和髓室中部的面积后指出，这三处的面积减少完全有各自的特征（表8-1）。

表8-1　下颌第一前磨牙髓室壁的不同部位面积减少速度的比较（%）

年龄段	髓室顶区域面积减少的速度	髓室底近根管口处面积减少的速度	髓室中部区域面积减少的速度
20岁～	（8.73±1.32）	（11.64±1.87）	（5.78±0.90）
40岁～	（5.18±0.98）	（7.08±1.24）	（3.25±0.51）
60岁～	（3.43±0.62）	（4.61±0.83）	（2.29±0.48）

从表8-1可以看出，在同年龄段时，髓室近根管口处面积减少的速度要高于髓室顶区髓壁面积减少的速度，因而可以很好地解释上述根管口“V-U”变化原因。继发性牙本质在四面轴相髓壁的沉积速度又小于髓室顶部的沉积速度，致使髓室的空间外形最终呈橄榄球形。

下颌第一前磨牙髓室底的外形还与髓室底上的根管口数目有关，由于根管口在排列上呈多种几何位，使得髓室底外形也随之变化。当髓室底根管口是单口时，此时髓室底多呈颊－舌向宽阔而近－远中向狭窄的凹面形，根管口位于髓室底中央区；有些下颌第一前磨牙虽然在髓室底上只有一个根管口，但连通的根管类型却为1-2型或1-3型，此时髓室底凹陷呈漏斗状，在粗大的根管口缘至变细的根管壁上，有时可见到侧口的存在。

有两个根管口的下颌第一前磨牙，其髓室底多由四面轴相髓壁将底面围成一近似方形的区域。由于是双口并存，因此可以见到明显的髓室底。观察显示髓室底的两根管口多为圆形，并呈颊－舌向直线排列。若使用器械探查时，在自由活动的空间内，可以寻觅到颊侧或舌侧的根管口，根管口可表现为一大一小，粗大的根管口在根颈部内，其根管壁与髓室轴壁相互移行，直至根中1/3段可能分出1～3条细小的分支。此类形态在操作中较容易寻觅到粗大的根管口，但往往会遗漏小的根管口。

另外在人群中还有一种少见形态，即在下颌第一前磨牙的髓室底上有三个根管口，虽然该类型出现的几率只有1%～5.5%，但对髓室底形态的构筑影响是明显的。根据已有的研究资料统计，位于髓室底的三口型排列模式可以分为四种排列组合形态：一类根管口呈近－远中向排列，在髓室底上的分布为

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

M1 D2 型（近中一口、远中两口）或 M2 D1 型（近中两口、远中一口）；另一类根管口呈现为颊－舌方向排列，在髓室底上的分布为 B1 L2 型（颊侧一口、舌侧两口）或 B2 L1 型（颊侧两口、舌侧一口）。无论哪种排列关系，在两个根管口的一侧通常髓室底都较宽，因此，有三个根管口的髓室底形态或呈梯形，或呈圆三角形，这为根管治疗时辨别是否有多根管提供了参考。

有人还发现下颌第一前磨牙有四根管口，虽然在抽样中只约占 1.1%，但其在髓室底的排列方式可呈现较大的自由度。因此，下颌第一前磨牙在寻觅根管口时目前还没有规律可循，除非使用根管显微镜等辅助措施，否则容易遗漏根管。

在寻觅根管口的过程中，根管口的直径大小往往也是影响操作顺利与否的因素，因为它直接涉及探查器械刃部进入根管口的难易程度。若髓室底的根管口宽大，器械很容易进入根管内；当根管口直径小于探查器械的刃部时，探寻工具很容易从其浅面滑过而漏掉应预备的根管。根管口的直径也受继发性牙本质沉积的影响，高龄与年轻时的根管口直径有着明显的增龄改变，呈渐进性缩小，这在髓腔增龄性变化中已被阐述，可是对每一个牙位的具体变化值则实际研究资料不多。表 8–2 是下颌第一前磨牙的根管口直径在三个年龄组段的比较，以供临床实际应用参考。

表 8–2　下颌第一前磨牙三个年龄段根管口直径的比较（mm）

年龄段组	颊根管口直径	舌根管口直径
20 岁 ~	0.75 ± 0.13	0.79 ± 0.13
40 岁 ~	0.48 ± 0.07	0.51 ± 0.08
60 岁 ~	0.37 ± 0.08	0.38 ± 0.06

表 8–2 是以两个根管口的样本测量值进行的统计（因为双口多见），单口和三口的直径目前还没有成熟的资料可供比较参考。

二、根 管 系 统

下颌第一前磨牙的根管数目和根管形态，早期对其研究甚少，通常被描述为单根单管，髓室与根管间没有明确的界限，而且根管在根中 1/3 下方才逐渐缩窄；同时又由于该牙的牙根较细，根管壁相对较薄，根管治疗中易导致根管壁侧穿，这是临床操作中常见的并发症之一。

近年来由于牙体牙髓病治疗技术的发展，对下颌第一前磨牙的根管研究取得了许多新认识，而且不同地域的居民，在根管的类型上也出现了差异，使得在下颌第一前磨牙的根管治疗中，有了许多可供参考的资料，并且有人著文指出在根管形态的研究中，由于采用方法的不同，对该牙根管数目和分型资料统计也会产生影响。表 8–3 是选择 350 颗离体的下颌第一前磨牙，对其根管分型的构成比研究结果，其值可以代表该牙根管的常见类型和所占比例的关系。

表 8–3　下颌第一前磨牙根管类型及比例（%）

根管类型	比例
单根单管型（1–1 型）	83.7
单根双管型（2–2 型）	4.6
单双混合型（1–2、2–1、1–2–1 型）	11.2
双根双管型（1–1 型）	0.5

从表 8–3 可以看出，下颌第一前磨牙的根管类型，常见是单根单管型，其次是单双混合型（图 8–3），这与传统认为下颌第一前磨牙为单根管是相符的。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　（B）　（C）

图 8–3　根管类型

（A）和（B）单根管型　（C）单双混合型

在牙根外形与根管形态的对应关系中，人们注意到一个现象，即在牙根的近中面或远中面有无长形的凹沟，这对其内是否为单、双根管有一定的判别作用。当牙根表面有凹形下陷时，此牙根内多为双根管形态（图 8–4），其发生几率为 88.8%，否则根内只有一条纵行的根管。X 线影像还显示当牙根内为一条垂直的根管阴影通过牙根的长轴位置时，这时牙根内双根管出现的几率较小；如果牙根的根管显示弯曲，或影像有重叠阴影时，这时就有可能出现多条根管或根管分支。

通过已有的研究资料可以看出，来源不同地域的样本之间，下颌第一前磨牙根管类型统计结果存在差异，这在临床治疗学中具有参考意义。若在某一地区抽样调查居民的根管类型存在共性特征，那么在根管预备中就要特别注意此类形态，基于该理念现将有代表性的几位学者的研究统计结果归纳总结（表 8–4），从表中也可以比较它们之间的数据差异。

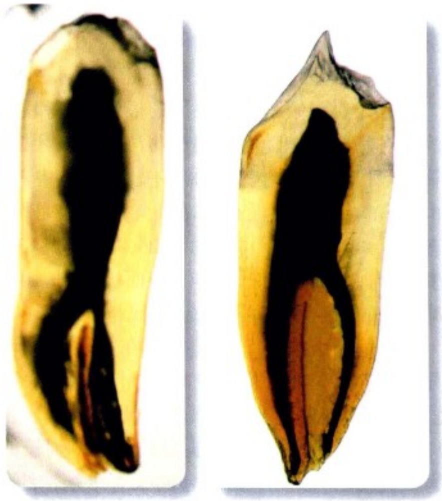


图 8–4　存在根分叉痕迹的牙根内有两条根管

表 8–4　下颌第一前磨牙根管类型的比例分布（%）

资料来源	单根管	双根管	三根管	单双混合型
王惠芸报道	80.0	20.0	0	0
Zilich 报道	73.5	26.0	0.5	0
Baisden 报道	76.0	0	0	24.0
岳保利报道	88.7	7.5	0	3.8

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

表 8-4 所显示的结果均显示了单根管形态是下颌第一前磨牙最普遍的类型，其间的差异较小；但是双根管形态则存在较大的差异。虽然王惠芸调查该牙达到 20% 的双根管，但有人认为这个比例依然过低，他们认为下颌第一前磨牙双根管的发生率应在 12% ~ 34% 之间；然而欧洲居民下颌第一前磨牙出现双根管的几率仅为 2.3%，同样形态在美洲则高达 29.5%。观察结果还反映一个事实，三根管形态在中国人的下颌第一前磨牙少见。

在下颌第一前磨牙根管形态的统计研究中，国人的研究资料较为丰富，但该牙出现的根管类型则远较欧洲居民简单，现将欧亚大陆交汇处土耳其居民的该牙根管类型的调查研究结果归纳于表 8-5，以供比较。

表 8-5 200 例下颌第一前磨牙根管类型及比例（%）

根管类型	1-1 型	2-1 型	1-2-1 型	2-2 型	1-2 型	2-1-2 型	1-2-1-2 型	3-3 型
比例	60.5	18.5	10.5	7	2.5	0	0	1

从 8-5 可以看出，下颌第一前磨牙单根管型在土耳其居民中所占比例较国人低，并且双根管的比例也较国人少，所不同的是单双混合型根管比例较高，并出现了完整的三根管型。

由于根管穿行在牙本质之中，在使用 X 线显示其形态时，有些管道因为管径太细无法吸收 X 线而显示形貌。在显示根管的形态和数目时，牙体透明法是目前能全面反映根管形态的最佳方法之一。从实用性研究的角度出发，也是目前其他显示方法难以与其比拟的。虽然显微 CT 对根管的观察显示已远远优于 X 线的显示方法，但从对研究样本的完整性以及又能细微地展示其内部结构来说，透明方法还是经济实用的。因此，当人们使用 X 线和透明方法同时对样本进行根管显示计量研究时，其结果可能存在差异。这也可能是目前在根管研究中，同一牙位的根管观察结果存在某些不同的原因之一。

有人对下颌第一前磨牙的根管形态和数目研究时，先采用细金属丝探入根管内摄 X 线片，记录根管的形态和数目，随后再用透明法显示该牙根管形态和数目，结果除了多根管牙体两者的值相近外，单根管和双根管形态两者间的误差较大。其中单根管中存在 26% 的误差，双根管中约有 1% 的误差，三根管也有漏检结果，但是几率很低。其结果是根管形态越简单，产生误差的几率反而越高，这表明单根管形态在 X 线上显示，可能约有 26% 存在 2 ~ 3 条细小的分支未被展示，或者该牙有未被显影的双根管甚至多根管，由于检测时分辨不清而被误判。因而在根管预备中，仔细寻觅根管口和使用次氯酸钠溶液反复冲洗髓腔，这些过程则是越彻底越好。

根管系统形态研究表明，在下颌第一前磨牙中最常见的是根管侧支、管间吻合、根尖分歧和根尖分叉等四种类型（图 8-5）。统计显示在人群中约 14% 的下颌第一前磨牙有根管侧支存在，约 7% 存在管间吻合。根尖分歧的出现与牙根内根管数目有一定联系，即单根管出现根尖分歧的几率较高，约为 13.4%，而双根管出现根尖分歧的几率则较低，不足 1%；单双混合型根出现根尖分歧的几率也较低，约为 2%。在下颌第一前磨牙的根管末端，约 2% 的单根管出现根尖分叉，双根管出现根尖分叉的几率只有 3‰（0.3%）。

下颌第一前磨牙的侧副管中，以根管侧支最常见。但由于根管侧支可以从根管行进中的任一位置发出，所以有必要研究根管侧支在根内发出的部位，以便更深入地探寻根管侧支起始的规律。研究资料显示，在下颌第一前磨牙的根管侧支统计中，几乎很少在颈 1/3 处的主根管发出侧支。在已有根管侧支的抽样中，约占 28.5% 的样本为从主根管的中 1/3 段发出侧支，而大部分主根管是在根尖 1/3 段才发出根管侧支，约占抽样整体的 71.4%。因此，从下颌第一前磨牙根管侧支的形貌我们可以得出如下结论：根管侧支是下颌第一前磨牙比较常见的侧副管形态，而发出的部位主要在根管的根尖 1/3 段。根管预备前的 X 线检查不能显示根管侧支或根尖分叉，因此，最保险的办法是在根尖区加强技术性处理，如超声冲洗或热牙胶加压充填等。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



图 8-5　根管系统形态

（A）根管侧支（B）管间吻合（C）根尖分叉（D）根尖分歧

在下颌第一前磨牙的根管形态中，由于双根管和多根管出现的几率增加，那么存在根管间的交通吻合形态也随之增加。以往人们很少关注到下颌第一前磨牙根管数目，主要原因是对该牙体髓腔研究使用离体牙较少，对其了解主要来自临床诊治中的牙片资料，当显示有双根管存在时记录统计。然而这其间存在一定的误差，一是 X 线影像本身有失真和误判（原理已前述），其二是 X 线牙片的投照受方位限制，只能选择颊－舌向投射，而近远中向显示髓腔形态完全缺如，故对在颊－舌方向被重叠遮蔽的双根管或多根管，治疗操作者无法知晓，这直接影响该牙根管数的统计和诊断。因此有人研究后指出，在颊舌向投射过程中所显示的根管数，远不及在近远中向上 X 线显示的根管数详尽，两者相差约 3 倍。

表 8-6 是下颌第一前磨牙髓腔形态的 X 线影像检测结果，当从不同方位投照时牙根分段内根管形态构成存在差异，这可为临床治疗中寻觅根管提供参考。

表 8-6　下颌第一前磨牙根管在不同投射方位下的显示比例（%）

投射方位	根管的部位	根管数目的构成比	
		单根管	多根管
颊舌向	根颈 1/3 处	99.2	0.8
	根中 1/3 处	93.4	6.6
	根尖 1/3 处	92.3	7.7
近远中向	根颈 1/3 处	97.0	3.0
	根中 1/3 处	75.2	24.8
	根尖 1/3 处	72.2	27.8

从表 8-6 的结果看，在单根管的显示上，无论从颊舌向还是从近远中向投射，观察到的结果相当近似；而当牙根内为双根管时，在近远中方向投照看到双根管的可能性要比从颊舌方向投照看到双根管影像高。这表明在颊舌方向双根管难以显示，容易被临床医师忽视，这也可能是导致下颌第一前磨牙治疗失败的原因之一。由于颊舌向排列的双根管易遮盖被漏诊，所以当有管间吻合时也易被遗漏。

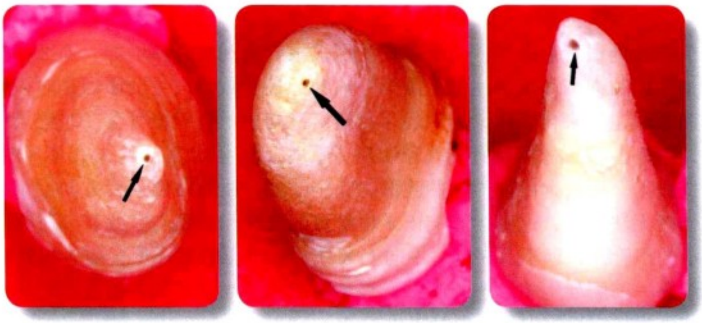
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

在下颌第一前磨牙根管系统形态中，管间吻合的发生率约为 7%，但其发生的位置则不尽相同。它可以发生在根管的任意一段，最常见发生的部位是在根管的颈 1/3 段，其次是在根尖 1/3 段。统计研究表明，在抽样中管间吻合发生在根颈 1/3 段约为 42.9%，发生在根尖 1/3 段约为 35.7%，发生在根中 1/3 段的管间吻合只有 21.4%。为什么在根管的上、下两端吻合形态出现几率高，而在根管中 1/3 段发生几率反而较低，其机制值得探索。但无论发生在颈段 1/3 处还是在根尖 1/3 处的管间吻合，治疗技术难易程度是没有本质差异的。

下颌第一前磨牙的根管末端，发生根尖 Delta 的可能性比我们介绍过的其他牙位要高。有研究资料显示，在该牙根尖区约有 15% 出现根尖 Delta 形态，但多数学者认为这一比例过高，可能与样本量收集有关。

三、根尖孔与侧孔

下颌第一前磨牙的根尖孔形态，常见的是圆形和椭圆形（图 8-6），在根尖孔形态中共约占 87%。其次，肾形和不规则的形态有时也可遇到，形貌特殊的根尖孔也有资料报道，但不是主要形态。根尖孔的形态在治疗学上的实用意义往往有限，因为根管治疗的工作止点，通常距根尖孔开口有一段约 0.5 ~ 1mm 的距离。



（A）　　（B）　　（C）

图 8-6　下颌第一前磨牙的根尖孔形态与位置

（A）圆形，位于根尖顶点（B）圆形，位于侧面（C）椭圆形，位于侧面

国内报道下颌第一前磨牙只有约 6.8% 的根尖孔位于根尖顶点。真正与根管成一直线，并在根尖顶点处的根尖孔在人群中不足 2.5%，绝大多数的根尖孔开口于根尖段的某一侧面，即颊侧、舌侧、近中或远中侧。另有研究统计结果显示，下颌第一前磨牙根尖孔位于根尖段舌侧约占 13.5%，位于颊侧的约占 20%，位于近中的约占 25%，位于远中的约占 26%。国外的报道也是约 84.7% 的根尖孔没有位于根尖顶点，而是位于根尖段的某一侧，根尖孔最狭窄处仍然距其开口缘约有 1mm 的距离，平均约为 0.88mm。

由于资料收集可能存在地域差异，所以也有人认为根尖孔位于根尖顶点或者偏向根尖段的某一侧，两者间出现的几率几乎相等。该结构形态的支持者，也得出了下颌第一前磨牙根尖孔开口部位的统计研究数据，结果是该牙根尖孔位于根尖顶点的约占 47.5%，而开口偏向某一侧的约占 52.5%。

该牙根尖孔的直径也有增龄性变化。有资料显示，40 岁左右的个体，下颌第一前磨牙根尖孔近远中径较大；当 60 岁时，这种近远中径宽、颊舌径窄的椭圆形根尖孔已逐渐变为圆形，而 20 岁左右的个体其椭圆形根尖孔较 40 岁的更为明显。

目前对侧孔形态的研究资料不多，就现有资料得出的结论是侧孔只有圆形和椭圆形两种形态，圆形所占比例最高，其他如肾形或不规则形态的侧孔未见报道。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第二节　下颌第二前磨牙髓腔形态

下颌第二前磨牙的外形与下颌第一前磨牙的外形略有不同，髓腔形态也有差异。髓室空间外形若从颊面观，与尖牙的髓室形态相似；与下颌第一前磨牙髓室顶有特别隆起的颊侧髓角不同，下颌第二前磨牙髓室顶较平缓延伸，外形更接近磨牙的髓室顶形貌，颊侧的髓角突起高度与舌侧髓角突起的高度相近（图 8-7），有时舌侧髓角更显得较突出一些。因此，下颌第二前磨牙的髓腔形态有自身的解剖特征。

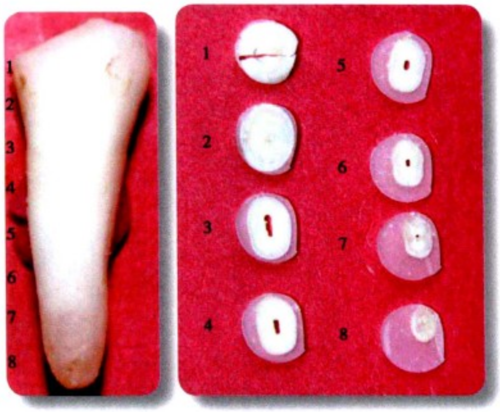
一、髓　　室

下颌第二前磨牙的髓室位于牙冠颈 1/3 与根颈 1/3 的内面，髓室顶中部凸向根方。在牙冠水平切面上，下颌第二前磨牙髓室多呈椭圆形，颊舌径大于近远中径，近中髓壁与远中髓壁的颊舌径几乎相等（图 8-8）。



图 8-7　下颌第二前磨牙髓腔纵切面观

（A）近远中向切面（B）颊舌向切面



（A）　（B）

图 8-8　下颌第二前磨牙连续水平切片

（A）下颌第二前磨牙颊面观（B）下颌第二前磨牙横切面观

髓室顶上有 2～3 个髓角，即颊侧髓角和舌侧髓角，颊侧髓角稍长于舌侧髓角，两者均位于牙冠颈 1/3 处。若出现 3 个髓角时（在群体中少部分人为此形态），其结构形态是 1 个颊侧髓角和 2 个舌侧髓角，远中舌侧髓角可能最矮，但其高度仍可达冠颈 1/3 处。该牙𬌗面常有 3 个牙尖，在牙冠的舌侧出现 2 个尖称为近中舌尖和远中舌尖。下颌第二前磨牙有 2 个舌侧髓角时，在该牙髓室的中部横切面可能就是一个典型的四边形。

下颌第二前磨牙一般无髓室底，因为大量研究资料均显示该牙最常见是单根管形态，髓室四轴壁与根管壁相互移行，揭开髓室顶后，器械可以直接探入根管内。

髓室的横切面呈一个颊舌径大于近远中径的长椭圆形，但该椭圆形的颊侧缘宽于舌侧缘，或者呈葫芦形，此时在髓室底的舌侧可能存在一个细小的根管口。由于该根管口太小，加之根管存在一定的弯曲，使得寻觅和预备难度较大，从而遗漏舌侧根管。

下颌第二前磨牙的𬌗面最易出现畸形中央尖。畸形中央尖的底部正好位于该牙的𬌗面中央窝，其内对应有一个异常的髓角伸入。当畸形中央尖快速磨损穿髓或折裂时，该异常髓角使髓室与外界开放，可能导致牙髓炎。为了预防此类意外发生，在临床上常可采用如下措施：①人为有计划地渐进性磨除畸形中央尖，利用牙本质的修复功能闭塞髓角空间；②主动磨除畸形牙尖后，再应用盖髓的方法修复髓室顶。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

下颌第二前磨牙的牙冠在自然位稍偏舌侧，髓室也向舌侧倾斜。因此，在开髓过程中，若在𬌗面中央窝垂直揭去髓室顶时，有可能过多磨除舌侧轴相髓壁，使该牙在咀嚼受力时易产生牙冠折裂。

二、根管系统

下颌第二前磨牙的根管通常为单根单管类型，按 Vertucci 分类属于 I 型根管，根管的横切面颊舌径大于近远中径，呈一扁形单管 [图 8-9（A）和（B）]。下颌第一前磨牙的根管类型有多种形态，而同为下颌前磨牙组的第二前磨牙为什么根管如此单一，是否抽样的覆盖面不够还是结构形态的真实差异？随后多位学者收集样本展开了对该牙根管形态的研究，研究结果几乎一致认为人群中约 97% 的个体该牙根管为 1-1 型，余者或 2-2 型，或 1-2 型 [图 8-9（C）]，偶尔也会出现 2-1 型根管。蒙古族居民中单根管类型的比例略低于上述结果，只有约 94.4%，但其他类型也只出现了 1-2 型根管。单根管的下颌第二前磨牙，在牙根的表面也可出现凹状的根面沟，此点在下颌第一前磨牙为根内有双根管的根面标志，而根面沟存在下颌第二前磨牙，其牙根内的根管仍然多为单根管类型。因此，有根面沟结构标志者，不适宜用在对下颌第二前磨牙双根管类型的判别。



（A）（B）（C）

图 8-9 根管类型

（A）和（B）1-1 型 （C）1-2 型

下颌第二前磨牙的根管形态中虽然单根管常见，但该牙根管多有弯曲存在。资料统计约 21.4% 的下颌第二前磨牙根管存在弯曲，弯曲的方向几乎都呈颊 - 舌向，因而在口内的颊舌向 X 线投照中很难显现根管的弯曲影像。弯曲的程度常被描述为枪刺状弯曲，即呈现越靠近根尖位置其弯曲度越大的“大回环式”，并且弯曲的凹面多向舌侧方向。有人收集 8 例有根管弯曲的下颌第二前磨牙样本，其中仅有 1 例弯曲凹面朝向颊侧，另 7 例的弯曲方向均朝向舌侧。但在有关弯曲方向的比例上，国外研究结论与国内的观察统计结果有些不同，他们认为向颊侧弯曲的比例要高于向舌侧的弯曲，两者的比约为 7 : 3。

下颌第二前磨牙的双根管所占比例较低，即使牙体存在双根时诊断是否为双根管也十分困难，原因是该牙的两条根管呈颊 - 舌向排列，通常颊侧根管粗而舌侧根管细。当 X 线投照两根重叠后，颊侧根管很容易遮盖舌侧根管的影像，导致诊断失误。因而 Martinez-Lozano 提议，在投照下颌第二前磨牙根管影像时，需与牙体偏斜 20° ~ 40°，才能显示是否双根管的影像。有人认为另一种方法也可以预估有无双根管，即在下颌第二前磨牙的 X 线投照中，若根管很清晰的在牙根中心线上成像，该牙即为单根管型，否则应高度怀疑有多根管的存在。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

另外一种情况在临床上也十分常见，即在下颌第二前磨牙的X线片上，发现为双根管，但在根管预备中，只能找到一条根管，而另一条根管寻觅不到根管口，这种情况多为高龄患者在髓室壁上有牙本质悬突造成。由于根管上方的牙本质悬突遮盖了根管口，使其得不到暴露，只有除去颊侧或（和）舌侧根管口上方的牙本质悬突后，才能充分显露出根管口，特别是舌侧的根管口，口径狭小，很容易被漏掉，若在反复寻找中很难发现根管口，此时可借助根管显微镜。有人报道在33例患者下颌第二前磨牙的双根管探寻时，其中有8例是借助根管显微镜才发现第二根管口，几乎是每4例双根管患者中就有1例需要使用辅助工具来寻觅根管口。

在下颌第二前磨牙的根管形态结构中，单根管如此普遍，而双根管相对较少，但这并不代表该牙的根管形态中不会出现一些罕见的个案情况。虽然目前为止我们还未遇到有三根管的下颌第二前磨牙，但Rhodes就曾经著文报道1例有四根管的个案。人群中也有少数个体的根管类型为1–2–1–2型，这提示在资料的收集中，其他类型的根管将会陆续见到。

下颌第二前磨牙的根管类型中，1–2型和2–1型在人群中的比例均很低，两种类型的总和约占1.3%（2–1型0.88%，1–2型0.44%），不足2%。虽然在人群中的比例不足5%即视为非常态状况，但从整个牙体根管系统而言，并不能归结为变异范畴，所以仍然有必要讨论它们的形态规律。2–1型和1–2型均归类为单双混合型根管，但其临床意义有较大差异，因为在根管治疗操作中，2–1型远比1–2型操作便捷。

在结构组合意义上2–1型与1–2型之间是不同的，2–1型根管是在髓室底部先有两个根管口分别通向两条根管，然后在牙根内又合成一条根管行至根尖；1–2型根管则是起于髓室底为一条单根管，随后在行进中再分成两条根管通向根尖；虽然同为单双混合型根管，但分合含义不同，并且在根内分合位置往往也有差异。根据单双混合型根管在根内发生的位置，可以间接判定根管治疗操作的难易程度，显而易见2–1型融合位置若发生在根颈1/3段操作要比根中1/3段容易，1–2型也有同样的结论。基于上述的原因，现将2–1型和1–2型根管的分合位置在人群中出现的比例归纳总结（表8–7），以供实际应用参考。

表8–7 下颌第二前磨牙2–1型和1–2型根管分合位置的比例分布（%）

根管类型	根颈1/3	根中1/3	根尖1/3
2–1型	10.81	63.51	25.68
1–2型	0	80.0	20.0

从表8–7可以看出，根管无论是一分为二还是合二为一，在根中1/3段的比例最高，两者所不同的是1–2型分叉的位置在根颈部罕见。

侧副管在该牙的髓腔形态中也占有一定比例，只不过由于双根管类型出现几率低，所以管间吻合形态也很少见。统计资料显示，管间吻合的发生率0.33%，同时该牙也与下颌第一前磨牙一样，未见有副根管形态报道。

在蒙古族居民中，侧副管的发生率统计约为44.4%，而且以根管侧支为主，另外可见到较少比例的根尖分叉形态，而其他类型则很少出现。然而在国人的汉族居民中，侧副管中除了根管侧支外（图8–10），管间吻合、根尖分歧和根尖分叉均有报道，只是发生率较低。表8–8是国人资料中下颌第二前磨牙的侧副管常见类型及发生率，以供实际应用参考。



图8–10 下颌第二前磨牙根管侧支

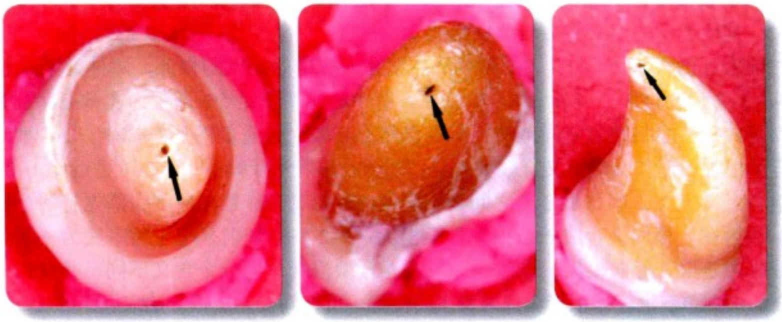
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

表 8-8 下颌第二前磨牙侧副管形态及发生率（%）

侧副管形态	根管侧支	管间吻合	副根管	根尖分歧	根尖分叉
发生率	35.31	0.33	0	2.97	5.28

三、根尖孔与侧孔

下颌第二前磨牙的根尖孔形态，常见的是圆形和椭圆形（图 8-11），孔径平均约 0.15mm。但大部分根尖孔不位于根尖顶点，调查显示约 78% 的根尖孔位于根尖段的某一侧面。



（A） （B） （C）

图 8-11 下颌第二前磨牙的根尖孔形态与位置

（A）圆形，位于根尖顶点 （B）椭圆形，位于侧面 （C）椭圆形，位于侧面

侧孔在下颌第二前磨牙的根尖段也可找到，其形状也有圆形和椭圆形两类，但在数目上有学者认为远少于主根尖孔的数目。统计资料表明，在根尖的开放门户中，约 25.2% 的孔是侧孔，其中圆形侧孔的孔径平均约 0.15mm，而椭圆形侧孔的最大直径可平均达到 0.25mm。

（佘小伟 杜昌连）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第九章

上颌磨牙髓腔形态

磨牙是重要的功能牙，由于该组牙体的外形复杂，牙冠𬌗面有沟、窝、尖、嵴、点隙等结构，这些形态为食物残渣滞留提供了条件，常因自洁作用差而继发细菌滋生，导致牙齿脱矿龋坏，因此，磨牙是口腔内易患龋病的牙位。

在临床口腔疾病中，磨牙区的牙髓炎和根尖周炎十分常见，而且治疗操作过程远较前磨牙和前牙复杂，这其中因素除磨牙的位置靠后、视野较差外，还与牙髓腔的形态复杂密切相关。磨牙的髓室虽然宽大，但其根管的数目多，根管空间构筑复杂（图 9-1），这也是导致治疗较困难的原因。

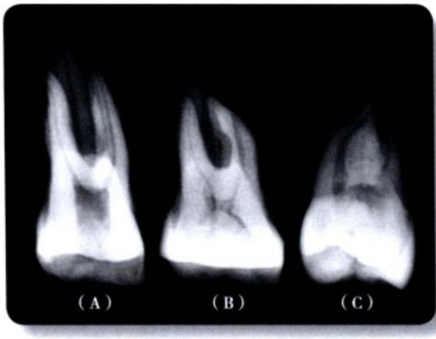


图 9-1　上颌磨牙髓腔形态（X 线显示）

（A）上颌第一磨牙　（B）上颌第二磨牙　（C）上颌第三磨牙

第一节　上颌第一磨牙髓腔形态

上颌第一磨牙的牙冠呈立方形，牙根由三根组成（颊侧两根，舌侧一根），且三根间的分叉度较大，冠与根移行处是粗壮的根柱，此形态奠定了位于牙体内部牙髓腔形态的基本轮廓。因此，该牙的髓室呈立方形，根管贯通在三牙根内，且存在一定的倾角，倾角的大小与该牙的根分叉度大小有关（图 9-2）。

一、髓　　室

上颌第一磨牙的髓室位于牙冠中 1/3 至根柱内，呈立方形空间，由典型的六面髓壁（髓室顶、髓室底、近中髓壁、远中髓壁、颊侧髓壁、舌侧髓壁）围成（图 9-3）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

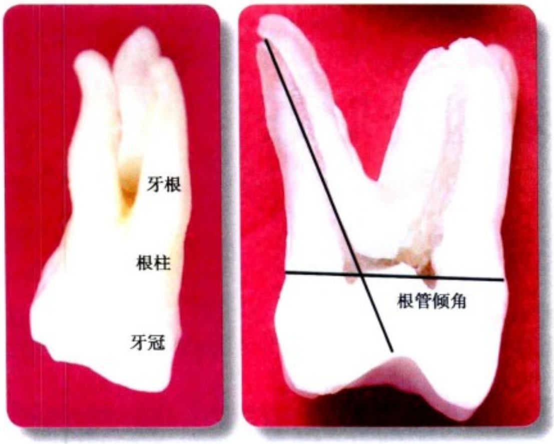


图 9-2　上颌第一磨牙的牙体外形与髓腔的对应关系

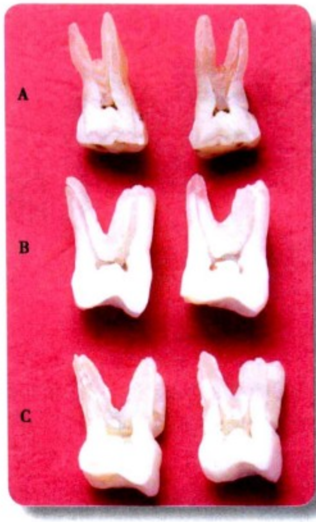


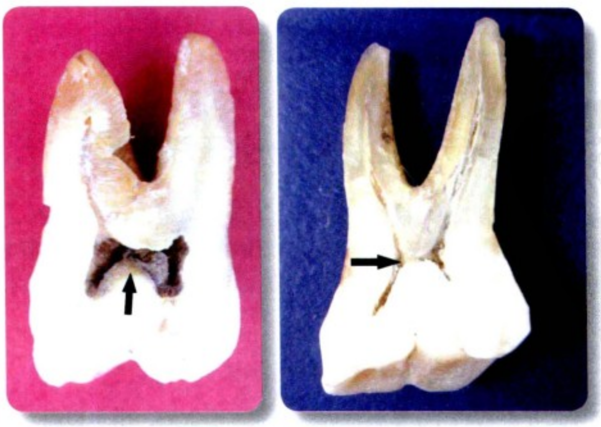
图 9-3　上颌第一磨牙髓腔纵切面观

（A）颊侧近远中向切面　（B）近中颊舌向切面

（C）远中颊舌向切面

六面髓壁所构成的立方形空间颊舌径 > 近远中径 > 髓室顶底间的高度 [图 9-4（A）]，髓室顶向髓室底方向凸起，如此使得髓室顶 - 底间的距离狭小。测量结果显示：青年人髓室顶 - 底间的距离平均约为 2mm，这一狭小的空间在临床开髓操作时，应该特别谨慎，否则易导致髓室底的损伤或穿孔。尤其高龄个体的磨牙，从侧方显示髓室时，顶 - 底的空间往往呈一条缝隙 [图 9-4（B）]，若在临床治疗中遇到此髓腔形态的患者，开髓过程中误伤髓室底的风险也随之增加。

在垂直于牙体长轴的水平切面上，四面轴相髓壁（近中髓壁、颊侧髓壁、远中髓壁、舌侧髓壁或称腭侧髓壁）将髓室围成一个斜方形（图 9-5），但髓室壁构成的四条边并非成平滑的直线，四面髓壁均向髓室形成一定的隆凸。特别是老年人的牙齿，这种隆凸的髓壁界面将髓室的容积变小，因此，髓室的容



（A）　　（B）

图 9-4　髓室顶与髓室底

（A）髓室顶凸向髓室底　（B）髓室顶 - 底间呈缝隙状

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　　　　　　　　（B）

图 9-5　上颌第一磨牙连续水平切片

（A）上颌第一磨牙颊面观　（B）上颌第一磨牙横切面观

积要比用测量边长距计算的空间容积小。

四面轴相髓壁各自的凸起程度也有差异，以近中髓壁凸起程度最显著，往往在高龄个体的磨牙髓腔近中髓壁上形成一新月型的近中悬突（图 9-6），该结构妨碍寻觅上颌磨牙近中颊侧根管口。因此，揭开髓室顶后为了清晰显示近中颊侧根管口的形态和数目，常需将近中髓壁的悬突清除干净，这除了有利于显露近颊根管口外，同时还对诊断近中颊侧第二根管口（MB2）存在与否具有意义。

在髓室顶部，与四个牙尖相对应处有四个伸向牙尖方向的髓角，髓角与殆面的牙尖并非呈竖直对应关系，而是呈倾斜的对应关系（图 9-7），即垂直于牙尖的深面并非该牙尖对应的髓角顶点。过去曾认为

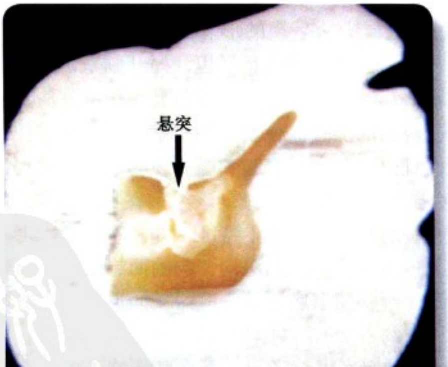


图 9-6　髓壁悬突

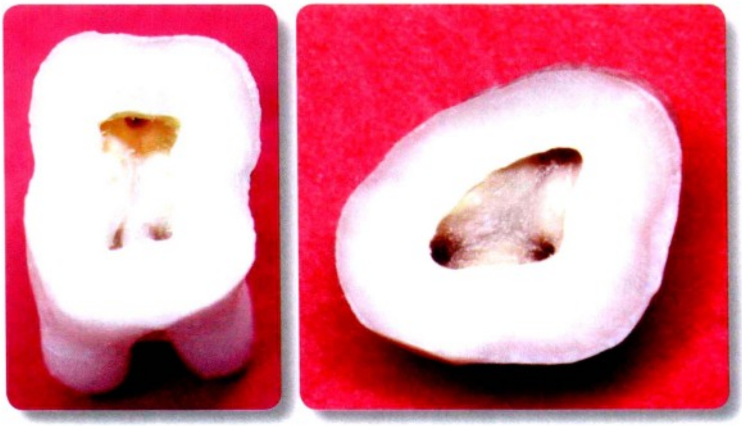


图 9-7　髓角与殆面的牙尖呈倾斜对位关系

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

在“卡氏尖”的深面也存在髓角，然而现有的资料显示，还未见卡氏尖内有突入的髓角。髓室顶上以近颊髓角和近舌髓角较高，两者均接近牙冠中 1/3；远颊髓角和远舌髓角较低，均接近牙冠颈 1/3 处。髓室顶中部凸向髓室底，其最凸处约与颈线平齐或超过颈线，因而髓室顶与𬌗面中央窝之间的髓壁较厚。有研究表明，在髓室顶部的继发性牙本质沉积速度快于四面轴相髓壁。因此，牙冠𬌗面虽然存在生理磨耗，但髓室顶的硬组织仍保持着一定的厚度，不会因牙𬌗面的生理磨耗过程而穿通髓腔。

髓室在牙体表面的投影位于牙冠及颈线下的根柱内。髓室的横切面除常见的四边形外，还有圆三角形、哑铃状和卵圆形等多种形态（图 9–8）。四边形约占 53%，圆三角形约占 24%，哑铃形约占 19%，最少见的是卵圆形，此形态不超过总体的 4%。上述无论哪种形态，髓室横切面外形均呈颊舌径大于近远中径，这与牙体外形的解剖特征相符。



（A） （B）

图 9–8 四面轴相髓壁围成的髓室横截面形态

（A）四边形 （B）圆三角形

上颌第一磨牙的髓室切面形态，是由四面轴相髓壁围成的，实际上髓室底也绝非呈一规则平面。根据近年来许多解剖资料证实，上颌第一磨牙髓室底在人群中所呈现的形态有四种基本类型（图 9–9）：①宽平型：此类形态与多数人理解的髓壁形态基本一致，髓室底宽大且平坦，揭开髓室顶后，探查器械可以在较大范围内自由滑动，该类型在群体中约占 56%。②宽凸型：所谓宽凸型系指髓室底虽然面积较大，但由于其髓室底中部牙本质呈丘状隆起，使得开髓后的探查器械紧贴轴相髓壁滑动时较便捷，然而至髓室底中部时则因有隆起而限制了器械的滑动，而且由于髓室底隆起和髓室顶的凸出，使得髓腔顶底之间的距离减小，从而造成开髓过程中落空感不明显，易误伤髓室底，该类型在群体中只约占 18%。③窄凹型：窄凹形的髓室底在外形上仍然遵循上颌第一磨牙髓室的基本特征，即髓室的切面形态仍为颊舌径 > 近远中径，所不同的是该类型髓室底中部形成一条颊舌方向的深沟，沟的两缘呈缓坡状延续为近远中轴相髓壁。当揭开髓室顶后，器械可以沿狭窄的凹沟状髓室底滑动，但器械向近 – 远中方向的活动多受限制，该类型较宽凸型的髓室底比例高，在人群中约占 25%。④马蹄型：马蹄型髓室底在人群中较少见，该类型在群体中约占 1%，其形态的最大特征是髓室底中部隆起，而在其周边（多为三面）形成凹沟，这三条沟其中两条固定在髓室底的颊侧和舌侧，另一侧沟或在髓室底的近中方向，或在其远中方向，半环状的沟如印在湿地马蹄印而得名；马蹄型髓室底在开髓后的器械探查中，有类似宽凸型髓室底探寻的感觉，但沿沟滑动时，在近中或远中方向会出现阻挡感。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　（B）　（C）　（D）

图 9-9　上颌第一磨牙髓室底形态

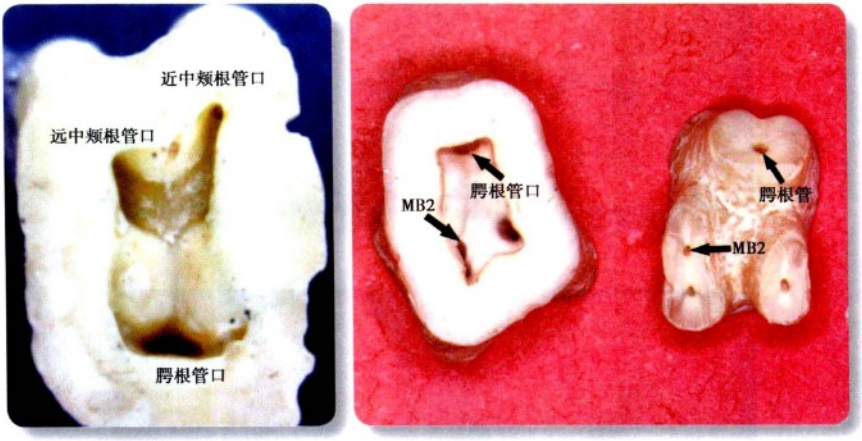
（A）宽平型　（B）宽凸型　（C）窄凹型　（D）马蹄型

髓室底形态的研究，其意义在于为开髓后寻找根管口提供理论支持。上颌第一磨牙已有完整的髓室底，髓室底上的根管口直接连通根管，但根管口的数目与根管的数目并非完全一致，而且形态也各异。根管治疗时，在髓室底上寻觅根管口需要快捷准确，但这首先应了解髓室底的根管口分布状况。

通常在上颌第一磨牙髓室底有三个根管口，这三个根管口分别为近中颊根管口、远中颊根管口和腭根管口［图 9-10（A）］。然而近年来对上颌第一磨牙的根管口研究显示，在近中颊根管口的附近，往往还出现一个口径较细小的第四根管口，被命名为近中颊侧第二根管口，缩写为 MB2［图 9-10（B）］。临床观察出现近中颊侧第二根管口的几率较大，统计资料显示约占 37.5%，然而有人认为这个数据太保守，实际人群中要远高于这一值。另有文献报道 MB2 的出现率高达 81%，但该结论来源于治疗失败病历的统计结果。上颌第一磨牙是否有如此高比例的第四根管口，这有待进一步研究。上颌第一磨牙的髓室底上出现四个根管口，也可能是另外一种情况，即颊侧的近、远中各为一个根管口，而腭侧有两个根管口。这提示人们在根管治疗中，上颌磨牙的四根管形态既可以是近中颊根有两个根管口，也可以是腭根有两个根管口（图 9-11），这在临床操作中寻觅根管口时应特别注意，否则会遗漏根管。另一种现象是上颌第一磨牙髓室底上只有两个根管口，这种双根管型首先是牙体外形本身就有变异，即该牙只有两个

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

牙根，并非通常描述的该牙有三个牙根。据文献记载，这一种类型是由于上颌第一磨牙腭根先天就没发育，因而也就没有腭侧根管口；或者上颌第一磨牙颊侧两牙根融合，从而近中颊根管和远中颊根管因相互靠得太近而形成融合，此时两根管口也融合成一个扁形的根管口，但根管向根尖方向行进中可能存在分支。



（A）　　（B）

图 9-10　上颌第一磨牙根管口的数目和位置

（A）三根管口　（B）四根管口

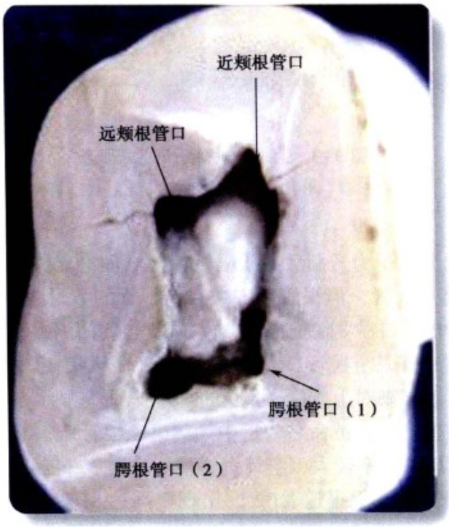


图 9-11　上颌第一磨牙四个根管口（腭侧双口）

根管口形态的研究之所以被人们关注，是因为揭开髓室顶后处理根管时，若能预先了解根管口的大致形态和口径粗细，对于器械顺利地伸入根管内是有帮助的。根据已有资料统计，上颌第一磨牙根管口

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

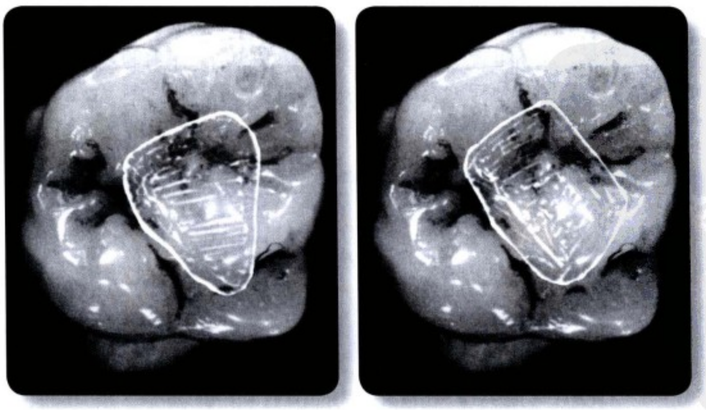
一般多呈圆形或卵圆形，长条形、肾形和哑铃形的根管口也可遇见，但出现的几率远低于圆形和卵圆形这两类形态。为了在根管治疗中预估该牙根管口径的粗细，现将上颌第一磨牙常见的根管口形态及根管口直径归纳总结（表 9–1），以供实际应用时参考。

表 9–1　上颌第一磨牙几种常见的根管口形态及口径（mm）

根管口形态	近中颊根管口径	远中颊根管口径	腭根管口径
长条形	1.9 ± 0.7	1.5 ± 0.7	1.7 ± 0.5
圆形	0.6 ± 0.5	0.6 ± 0.3	1.1 ± 0.3
卵圆形	1.2 ± 0.6	1.0 ± 0.5	1.6 ± 0.5

在以往的文献中，通常只描述上颌第一磨牙髓室底三个根管口形态，现在越来越多的研究表明在上颌第一磨牙近中颊根管口的近中舌侧出现第四根管口（图 9–10），如前已述，学者们称为近中颊侧第二根管口（MB2）。人们在临床实践中发现，部分上颌第一磨牙即使在做了根管治疗后，也往往很难痊愈，最后不得不拔除患牙。若将拔除的患牙采用透明法进行观察，以显示其髓腔形貌，结果发现 61% 的治疗失败患牙存在第四根管未被预备和充填，这表明上颌第一磨牙许多治疗失败的病例是由于没有寻觅到近中颊侧第二根管口，从而该根管未被清理和充填。因此，上颌第一磨牙行根管治疗时应常规寻找 MB2。

根管治疗时如何寻找第四根管口，这是每位操作者较关注的问题，以下几条原则可供选择：首先，提高术中发现第四根管几率的公认方法是使用根管显微镜，正如古训所言“工欲善其事，必先利其器”，这是目前寻觅根管口最有效的措施。有研究表明，单凭肉眼寻觅第四根管口，其发现几率只有 69%，而使用根管显微镜，其发现的几率大为提高。但目前根管显微镜因价格昂贵，难于推广应用，因此，还有第二个方法可供选用。传统的上颌第一磨牙开髓窝洞为圆三角形，实际上这对于显露近颊第二根管口是不利的，若将圆三角形改为长菱形，或者将开髓窝洞的腭侧边界向近中方向延伸（图 9–12），则可大大提高显露上颌第一磨牙近颊第二根管口的几率。有人撰文指出，若将开髓窝洞改为菱形，同时又使用了根管显微镜，则可把发现 MB2 的几率提升到 96%，按统计学的标准这几乎达到完美的程度。揭开髓室顶后，先寻觅到近中颊根管口，随后找到腭根管口，再从近颊根管口至腭根管口作一假想的连线，若存在近颊第二根管口（MB2），则位于该假想线的近中 1mm 区域内及 MB1 舌侧 2mm 内；如果是腭根第二根管口，则位于腭根的近中颊侧旁 0.5 ~ 1mm 的范围内。



（A）　　　　（B）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（C）

图 9–12　上颌磨牙𬌗面开窗形态

（A）传统的三角形开窗　（B）改良式菱形开窗　（C）揭开髓顶暴露髓底

为了在近中颊根管口的附近快速寻找到可能存在的近颊第二根管口（MB2），在揭去髓室顶后，从近中颊根管口至腭侧根管口先作一假想连线，然后在该连线的近中方向，再作一条以近颊根管口为顶的射线，并让第二条线与第一条假想线间有 30°～40° 的夹角，通常 MB2 就存在这 30°～40° 夹角的扇形区内（图 9–13）。研究发现，从近中颊根管口至腭根管口的连线与近颊根管口至近颊第二根管口（MB2）的连线所形成的夹角，平均约 30°。

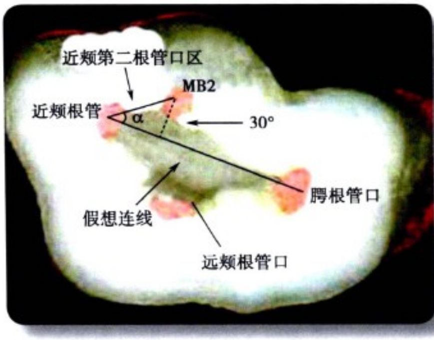


图 9–13　在近颊根管口至腭根管口连线的近中扇形区内寻找 MB2

髓室底并非想象中的平面，前面已经阐述了上颌第一磨牙的髓室底有四种基本形态（宽平型、宽凸型、窄凹型、马蹄型）。然而仔细观察髓室底就可以发现，髓室底上还有沟延伸至根管口，或者说根管口延续有沟扩展到髓室底，当揭开髓室顶后，可以沿沟找到根管口，此可作为寻觅根管口的方法之一。据观察，髓室底上的沟有多种形态，目前观察到的沟有 Y 形沟、7 字形沟、远中颊舌沟、近中颊舌沟和正中沟等五种类型（图 9–14）。在上颌第一磨牙髓室底的沟分型中，最常见的是 Y 形沟和 7 字形沟，其他三种类型（远中颊舌沟、近中颊舌沟、正中沟）所占比例较低，表 9–2 是该磨牙髓室底上常见沟的类型及构成比。

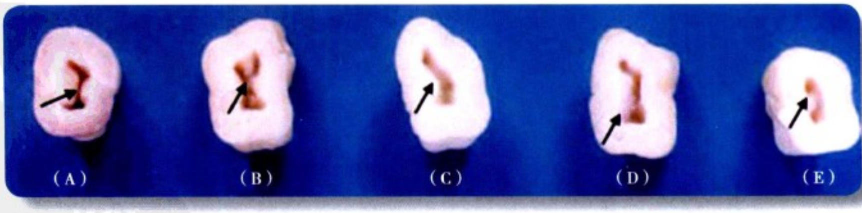


图 9–14　上颌第一磨牙髓室底常见沟形态

（A）7 字形沟　（B）Y 形沟　（C）近中颊舌沟　（D）远中颊舌沟　（E）正中沟

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

表 9-2　上颌第一磨牙髓室底沟的形态及比例分布（%）

形态	Y 形沟	7 字形沟	远中颊舌沟	近中颊舌沟	正中沟
比例	45.2	35.7	9.5	4.8	4.8

所谓 Y 形沟，系指位于髓室底部的沟呈分支状，三条沟的尽头分别连通近颊根管口、远颊根管口和腭根管口，因而揭开髓室顶后依据牙体外形参照定位，沿髓室底沟的走向寻觅到需探入的根管口。7 字形髓室底沟，形态特点是邻近颊侧的髓壁底部有一横沟将近颊和远颊两根管口相连，然后从远中颊根管口再续一沟延到腭根管口，两沟组合在外形上似阿拉伯数字 7；7 字形沟的髓室底多呈隆凸状，在此类沟型寻觅根管口时，通常借助牙体外形确定方位后，再沿沟探寻半周就可找到三个根管口。远中颊舌沟型在人群出现的比例未超过 10%，该类型的形态特征是颊侧的两个根管口之间髓室底平坦无凹，而远中颊根管口与腭根管口间有一沟相连，该类型多见于窄凹形的髓室底外观，当在髓室底寻觅根管口时，沿沟的走向分别探入远颊根管口和腭根管口。近中颊舌沟型和正中沟型均属于少见的髓室底沟形态，在人群中出现的比例较低，而且沟的走向均为颊 - 舌向，所不同的是正中沟位于髓室底中部，而近中颊沟在髓室底的位置则偏向近中髓壁，其沟延伸至舌侧连通腭根管口，若沿沟向颊侧探寻近中或远中颊侧的根管口时，一般是近中颊舌沟型更易探寻到近颊第一根管口。有人在观察髓室底的沟类型后认为，近中颊舌沟型在髓室底一般只能找到两个根管口，当上颌第一磨牙的远颊根管口缺如，此时颊侧根管口通常较大。

二、根 管 系 统

上颌第一磨牙的根管形态较为复杂（图 9-15），早期人们将上颌第一磨牙的根管形态划分为五种类型：①单口单孔型（一个根管口，一个根尖孔）；②单口双孔型（一个根管口，两个根尖孔）；③双口单孔型（两个根管口，一个根尖孔）；④双口双孔型（两个根管口，两个根尖孔）；⑤多口多孔型（三个以上根管口起始，又以三个以上根尖孔终止）。

这些分类方法虽然记录了根管的起始和终止形态，但根管穿行在牙根内可存在分支、吻合，使得根管的数目与根管口或根尖孔的数目并不完全成对应关系，所以有不足之处。因此，Vertucci 提出了另一分类方法，即数字代码组合法。组合的第一个数表示根管口数，第二个数表示根管数，第三个数则代表根尖孔数。如 1-2-1 表示一个根管口起于髓室底，然后分为两个根管穿行在牙根内，最后又合成一管终止为一个根尖孔。此分类利于很好地理解其空间构筑。若遇到复杂的根管形态，该分类方法也难于准确描述或记录其形态结构，如副根管、根管侧支、管间吻合、根尖分歧等复杂的形态归属何类，因此，有必要全面引进根管系统概念才能描述上颌第一磨牙的根管空间形态。

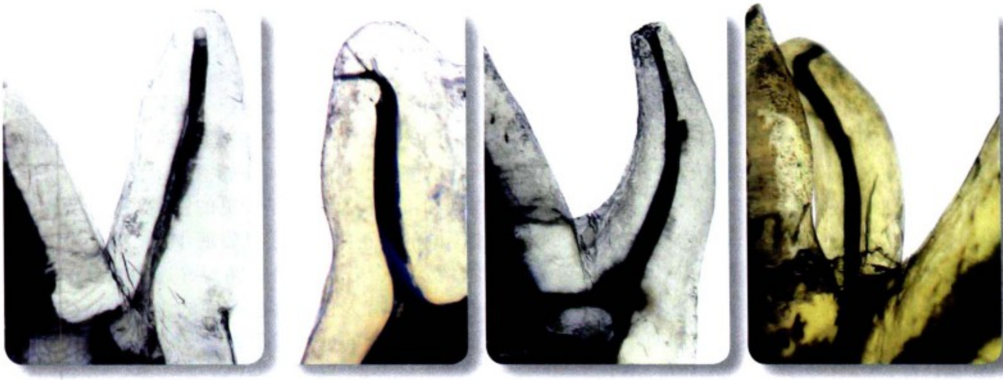


图 9-15　上颌第一磨牙根管形态

上颌第一磨牙根管有不同程度的弯曲。在根管弯曲形态描述上通常将其分为 I 形、J 形、C 形和 S 形（图 9-16）。I 形根管系指无弯曲的直根管，这是治疗操作最为便捷的形态结构；J 形根管的形态近似字母 J，那些只在根尖 1/3 处弯曲的根管均可计入该类分型；C 形根管的牙根外形就存在大幅度的弯曲，位于其内的根管自然也随之弯曲，这种以根管中部为弯曲顶点的形态，操作难度远大于 I 形的根管，这也是造成根管预备中侧穿或

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

形成台阶的常见类型；S 形根管在弯曲分类中比例最少，然而它是根管治疗中操作最为困难的根管形态。虽然现在器械的改良和根管预备方法的进步，已克服了众多形态弯曲复杂根管的治疗难题，但有些罕见的弯曲形态仍是造成操作失败的主要原因。根管除了弯曲度外，弯曲的方向往往也是根管治疗难度增加的因素，因为在天然牙上要了解其根管的弯曲形态，目前仍依靠 X 线的诊断，如果根管的弯曲方向呈近远中向则易于发现，若根管弯曲呈颊舌向则易被重叠隐蔽。



（A）　（B）　（C）　（D）

图 9-16　根管弯曲形态

（A）I形　（B）J形　（C）C形　（D）S形

关于上颌第一磨牙近中颊根内的根管形态，以往多被描述为单根单管型。实际早期人们的观察结果也是以单根管为主，所以就形成了一个普遍印象，上颌第一磨牙只有三条根管。随着研究该牙的样本越来越多，对于近中颊根的根管形态则有了全新的认识，单根单管型只是其中的部分结构形态，真正的 1-1 型约占 32.6%，单管型在根尖的 1/3 处可出现根尖分叉或根尖分歧。上颌第一磨牙近中颊根的根管除了 1-1 型外，还有 2-1 型、1-2 型和 2-2 型三种。据统计在人群中 2-1 型略高于 1-2 型，前者出现的比例约为 17.4%，后者约为 12.1%；2-2 型在人群中出现比例要高于 1-2 和 2-1 两型之和，在人群中平均约占 37.9%。2-2 型在形态学上应该属于典型的单根双管型，虽然该类型的根管数目增加了，但在根管预备中的操作难度与 1-1 型相似。

当人们以单、双根管描述根管形态时，由于划分标准上存在歧义，有人将 1-2 型或 2-1 型中的部分牙也归入了双根管的范畴，因此双根管的比例被提高了（图 9-17）。因为根管分叉点的位置不同确实很难划归至某类范围，如 1-2 型中的双管分叉点靠近根管口处，在视觉上就更相似于双根管形态，但实际根管操作难度超过了 2-2 型。以往研究表明，在人群中上颌第一磨牙近中颊根出现 1-2-1 型并非罕见（图 9-18）。

近中颊根的双根管形态是目前研究热点之一，因为在前面寻觅根管口的叙述中已经提到其重要性，而且对揭开髓室顶“窗口”的形态改良有助于寻觅近颊第二根管口。由于近颊第二根管的概念较为混杂，故在人群中存在的比例各家结论差异也很大。一般认为 MB2 为单独起于髓室底的根管口，并独立穿行牙根全长直至根尖孔止，这是典型的单根双管形态（图 9-19）。然而在人群中有一类牙体外形出现了变异，即在近颊根有明显分叉痕迹，内部有各自的根管穿行，在概念上它们属于单根单管型，但又不能用单根单管的分类命名，故所谓 MB2 的定义是以根管所在的位置命名，只要近颊根管在髓室底出现了第二根管口，则均应归入 MB2 的概念；曾有人称此类型为近颊舌根管，现在则倾向近颊第二根管（MB2）名称。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



图 9-17　上颌第一磨牙近中颊根根管形态

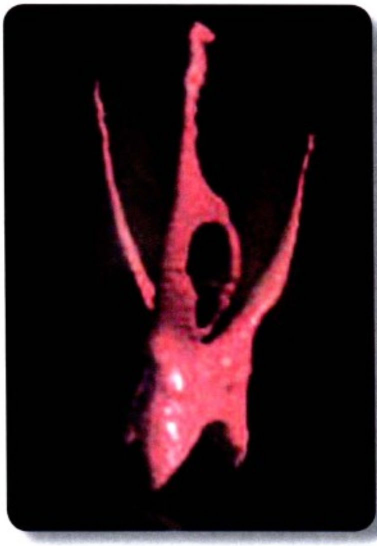
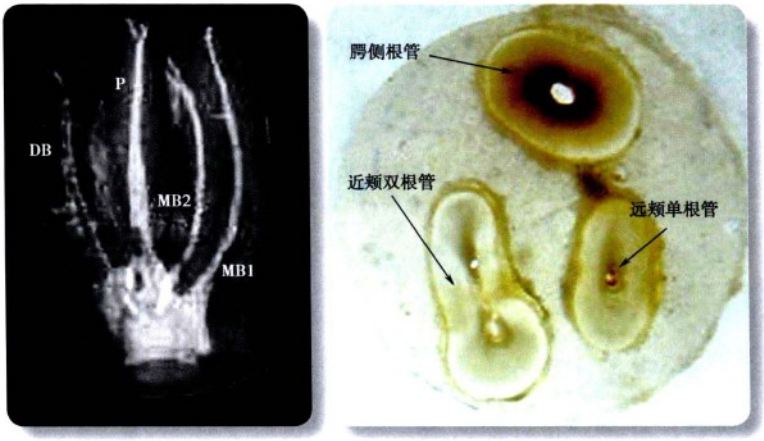


图 9-18　近中颊根管的 1-2-1 型



（A）　　（B）

图 9-19　上颌第一磨牙近中颊根的单根双管型

（A）CT 扫描　（B）牙根水平切片

近颊根内的两条根管各自独立穿行直至根尖并开口于根尖孔，此便是真正的双管形态。穿行牙根内根管的长度在根管预备时也应受到关注，虽然口腔 X 线的使用和根管测量仪的发明对根管长度的确定已不是一个问题，然而在操作中若对根管长度大概有些了解，这对顺利完成根管预备有一定帮助。现有研究资料显示近中颊根管平均长约 19mm，近中颊第二根管（MB2）平均长约 18.10mm。值得注意，此处的根管长度并非解剖概念上的根管长度，而应称为工作长度更为准确，测量的值为根尖孔上方的狭窄区至该牙𬌗面的长度。在近颊根的两条根管间，如果形态简单，则为两条平行（严格定义应称伴行）的管道，但往往两管之间存在交通吻合支，故管间吻合在人群中也时有存在（图 9-20），这是上颌第一磨牙

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

根管治疗失败很难避免的结构因素。

研究显示，远中颊根根管形态较近中颊根根管形态简单，在多数情况下为一条单一的扁形根管。统计资料表明 74% 为单根单管形态 [图 9-21（A）]，16% 为 1-2 型，2-1 型虽然在人群中也可遇到，但所占比例不高，只有约 2%[图 9-21（B）]，余者为其他类型。远中颊根侧副管的发生率较近中颊根低，统计显示在人群中只有约 1/5 的个体会出现根尖分叉。在根管治疗中，寻找和探入根管均显示远中颊根管操作过程比近中颊根管容易。远中颊根管的工作长度也平均约为 19mm，但根管的直径较近中颊根管狭窄，无论在根管口下方的测量值或是在根管中部的测量值，两者均相差约 1/3。



图 9-20　近中颊根内的管间吻合（单一吻合）

上颌第一磨牙腭侧根管是三个牙根中最简单而又有规律的根管。由于腭根外形粗壮，故在其内走行的根管也较粗大。观察显示如下形态特征，该牙颊侧的根管截面均为扁圆形，腭侧根管截面多呈圆形（图 9-22），并且根管的形态也很规律，94% 为单根单管型（Ⅰ型），有些学者的观察结果比这还要高，余者为 1-2 型或 2-1 型，腭侧根管的工作长度平均约为 21mm。



（A）　　（B）

图 9-21　上颌第一磨牙远颊根的根管形态

（A）单根管　（B）2-1 型

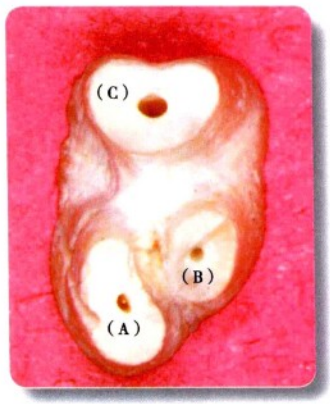


图 9-22　根管形态比较

（A）近中颊根管　（B）远中颊根管　（C）腭根管

上颌第一磨牙的根管系统中，还有一类十分少见的根管形态，即上颌第一磨牙的 C 型根管。C 型根管最常见的牙位是下颌第二磨牙，然而 Morz 曾报道上颌第一磨牙的腭根出现过 C 型根管，不过比例很低，Morz 在 2175 例病案中仅碰见了 2 例。另一种根管变异是上颌第一磨牙的髓室底及根管口外形与上颌前磨牙的髓室底和根管口相似，故根管的形态也具有极大相似性，但此类牙体外形首先出现了异常，据文献记载由于颊侧的两个牙根融合，使得穿行在牙根内的根管也由原来的近、远中两条根管，变异成一条扁形的单根管。

在讨论根管形态时，除了强调根管个案存在异常外，根管治疗中的牙根毗邻解剖结构也不容忽视，上颌第一磨牙的根尖邻近上颌窦，因此，根管工作长度的测量就尤为重要，超充的后果除了根尖周的物

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

理性炎症外，还有可能导致上颌窦炎。

三、根尖孔与侧副孔

上颌第一磨牙的根尖孔除了位于根尖顶点外，还可位于根尖段四个轴面的任意一侧，即颊侧、腭侧、近中或远中侧。Vertucci 等认为上颌第一磨牙 80% 的根尖孔都位于根尖段某一侧面，但国内学者普遍认为这一比例偏高。

有关上颌第一磨牙根尖孔的形态，研究资料显示多为圆形和椭圆形（图 9-23），少有其他形态出现。根尖孔虽然在增龄变化上有随时间推移而孔径呈进行性缩窄的现象，但没有髓室、根管这些部分改变显著。

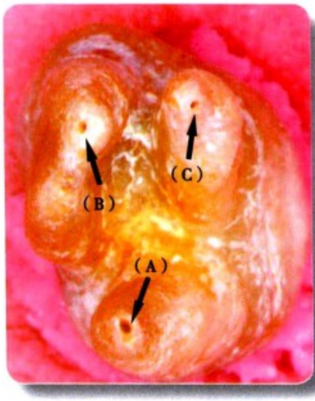


图 9-23 上颌第一磨牙的根尖孔形态与位置

（A）圆形，位于根尖顶点 （B）椭圆形，位于侧面（C）椭圆形，位于侧面

上颌第一磨牙近中颊根多有两个根尖孔 [图 9-24（A）]。统计显示，近中颊根两个根尖孔的出现率可高达 52%，这与上颌第一磨牙近中颊根的双根管出现比例高有关。根尖孔开口的位置多在侧方，并非根尖顶点，近中颊根的两根尖孔的直线距离约为 2mm。另有报道上颌第一磨牙三个牙根的根尖孔位于根尖顶点约占 1/2，另有 1/2 的根尖孔位于根尖段的任意一侧，距根尖顶点的最大距离可达 3mm，平均距离约 0.8mm。圆形根尖孔的平均直径约为 0.14mm，椭圆形根尖孔最大直径的平均约为 0.22mm，在构成比例上圆形根尖孔要多于椭圆形根尖孔。

远中颊根的根尖孔数目及分布关系较近中颊根的根尖孔简单。众多资料均显示，该牙根的根尖孔几乎全为单孔型，孔的形态以圆形常见，孔径的平均约为 0.15mm，少数为椭圆形。

腭根的根尖孔形态及位置 [图 9-24（B）] 在三个牙根的根尖孔中较为特殊，形态显示孔圆而孔径大，这与腭侧的牙根管粗大相匹配。在已有的资料描述中，均记录为单根管对应单根尖孔，而且根尖孔 96% 位于根尖顶点处，圆形根尖孔直径平均可达 0.18mm。





（A） （B）

图 9-24 上颌第一磨牙根尖孔的形态与位置

（A）近中颊根两根尖孔均呈椭圆形；a.MB1 根尖孔位于根尖顶点 b.MB2 根尖孔位于侧面
（B）腭根根尖孔呈圆形，位于根尖顶点

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第二节　上颌第二磨牙髓腔形态

上颌第二磨牙在外形上与上颌第一磨牙相似，上颌磨牙髓腔具有的结构特征在该磨牙髓腔形态中均可存在，所展示的只是细节上的差异。在外形上呈斜方形的牙冠殆面逐渐演变为梯形或圆三角形，因而其内的髓室顶形态也发生了改变（图 9-25）。该牙也有三根，但各牙根之间构成的夹角已由大夹角逐渐变锐或几乎接近平行，故从根管口沿牙体长轴易进入根管。上颌第二磨牙的根柱通常较上颌第一磨牙的根柱长，这可能使髓室底更靠近根尖的方向（图 9-26），此形态特征在开髓操作中值得注意。



图 9-25　上颌第二磨牙殆面形态和髓室水平切面外形

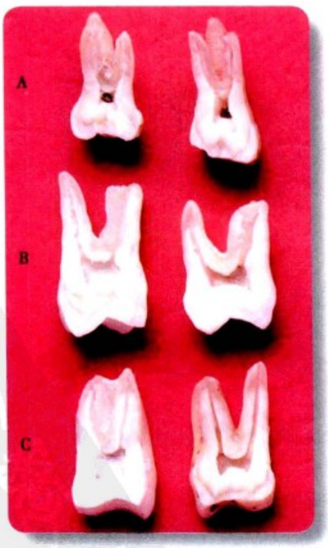


图 9-26　上颌第二磨牙髓腔纵切面观

（A）颊侧近远中向切面　（B）近中颊舌向切面
（C）远中颊舌向切面

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

一、髓　　室

上颌第二磨牙的髓室容积较第一磨牙的髓室容积小，但仍然遵循上颌磨牙髓腔形态的共同特征，即髓室的颊舌径＞近远中径＞髓室顶－底之间的高度。

上颌第二磨牙的髓室壁虽然保持了颊舌径大于近远中径的关系，但颊侧的髓壁比舌侧的髓壁近远中径长，以致围成的髓室底呈梯形或圆三角形。在髓室顶上的髓角与𬌗面的牙尖数一致，一般有3～4个髓角（图9-27），且髓角的中心偏牙体长轴，即髓角顶点斜对𬌗面的牙尖，当舌侧只有近中舌尖时，此时髓角减至3个。髓室顶上的髓角不论3个或4个，近中颊侧与近中舌侧髓角总是离𬌗面的距离最近，其次才是远中颊侧与远中舌侧髓角。因此，在上颌磨牙𬌗面的备牙或调𬌗时，对近中牙尖处若过度调磨就有可能穿通髓腔，导致人为的牙髓炎发生。



图 9-27　髓室顶可见三个髓角

髓室底与上颌第一磨牙的髓室底有较大差异。Vigouroux 和 Bossans 报道93%的个体上颌第二磨牙髓室底呈四边形，仅6%为三角形；国内学者在研究上颌第二磨牙髓室底的形态后得出的结论是60%为三角形，40%为四边形。髓室底的这种改变是因为牙体的外形改变所致，当牙体𬌗面从斜方形逐渐演变为圆三角形（图9-28），髓室顶外形也相应地发生改变，这与上颌磨牙的远中舌尖渐进性退化和牙冠颊面向远舌方向逐渐减径有关。

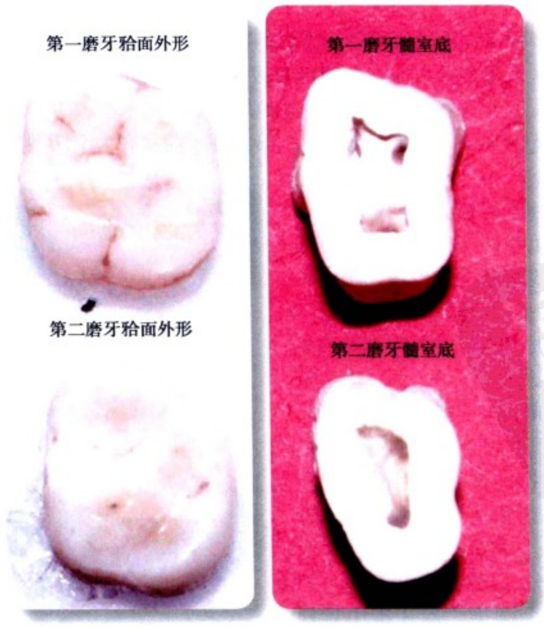
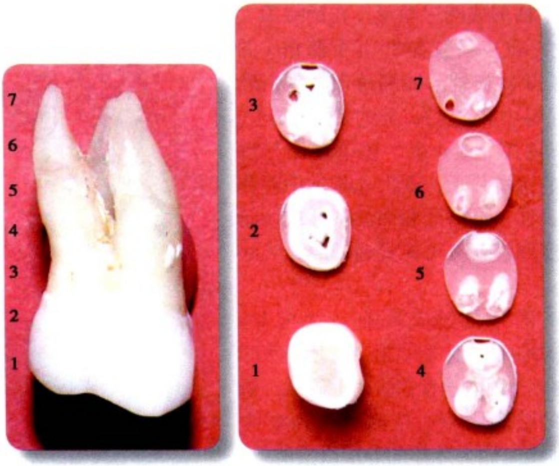


图 9-28　上颌第一、第二磨𬌗面及髓室底外形比较

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

髓室底上根管口的数目与第一磨牙相似，也可见 3～4 个根管口，但以 3 个根管口较常见（图 9-29）。由于髓室底面积相对较小，故各根管口间的距离也相应变短，在寻找或分辨根管口时比第一磨牙困难，器械的探寻空间也受到限制。上颌第二磨牙髓室底较第一磨牙髓室底结构特殊，各根管口之间有窄沟或沟纹连接，这有利于根管口的寻觅，特别是使用根管显微镜操作时。有人将这种连接根管口间的髓室底沟纹称为髓室底图（dentin map），按图往往能探寻到那些细小的根管口。



（A） （B）

图 9-29 上颌第二磨牙连续水平切片

（A）上颌第二磨牙颊面观 （B）上颌第二磨牙横切片观

在髓室底连接根管口的窄沟通常为两种形态，即 7 字形与 Y 形（图 9-30）。据观察统计显示髓室底沟呈 7 字形的占 54%，呈 Y 形的约占 44%。髓室底的根管口间有窄沟存在，很可能与该牙的髓室底在有限的空间内产生皱褶有关。上颌第二磨牙的髓室底的外形中，宽平型较少，在人群中只约占 29%，而在上颌第一磨牙宽平型则高达 56%。与此相比，上颌第二磨牙髓室底为窄凹型则在人群中的比例最高，约为 62.5%，宽凸型约占 8%。

由于上颌第二磨牙髓室的切面积明显小于上颌第一磨牙，髓室底又以窄凹型常见，故寻觅根管口时，人们常选用一些辅助措施以提高根管口的发现率。文献介绍有一种在髓室底寻觅根管口的逐步接近法，使用该方法源于对那些高龄或患慢性龋病，或使用过不良修复体的个体，因为这些个体的髓腔壁均有过度沉积的继发性牙本质，它们堆积遮蔽了髓室底上的根管口，使得揭开髓室顶后很难寻觅到根管口的位置。因而逐步接近法建议打开髓室顶暴露髓室后，用细小车针逐步清除覆盖在髓室底上方沉积的牙本质（主要是四面轴相髓壁的部分），以显露髓室底上的根管口，此方法对寻找上颌第二磨牙近中颊根的第二根管口（MB2）十分有效。Stropko 等学



（A） （B）

图 9-30 上颌第二磨牙髓室底图

（A）7 字形 （B）Y 形

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

者甚至认为在近颊根管口的髓顶方向继发性牙本质可形成厚约4mm的天花板结构，若使用长颈的球钻磨除堆积的牙本质，可使近中颊根的MB2发现率提高约33%。在寻觅髓室底上根管口过程中，还可以应用化学药物辅助寻觅根管口，其方法是揭去髓室顶后，在暴露的髓室内先用次氯酸钠液体冲洗髓室底，清除隐蔽髓室底图上的感染物及残屑，再用1%的亚甲蓝行髓室底染色，有助于显示出根管口的位置。

上颌第二磨牙的髓室底上通常有三个根管口，但近来文献也有报道两个根管口者（图9–31），呈颊–舌向排列，此种情况该牙根多有变异，如两颊根融合或远中颊根没有发育。在临床操作中若寻觅根管口少于3个，还应结合X线影像对牙根的外形作出判断，是否存在牙根变异，否则会遗漏根管。在该牙的髓室底上，也可以发现4个或更多的根管口，已有资料记载该牙的腭根可有2个根管口，或近中颊根出现3个根管口，但这类出现的几率并不高，通常视为一种变异。近些年来人们在研究上颌第二磨牙根管治疗失败的原因时，发现在近颊根管口的近舌侧也存在第二根管口，亦称MB2，其结构形态与上颌第一磨牙的近颊第二根管口相似，概念和命名也相同。上颌第二磨牙MB2根管口的发生率国内的报道各不相同，这可能与观察样本量有关，另一种出现高比例的情况可能把根管口数与根管数当成同一概念使用。近颊根的两个根管口有大小之分，通常第一根管口要大于第二根管口，Gilles测量的结果是MB1平均直径约为0.49mm，而MB2平均直径约为0.42mm，当两个根管口靠得太近似有融合时，整个孔径可约达1.9mm。自从1968年Weine在上颌磨牙髓室底发现近中颊根第二根管口以来，怎样能提高MB2的发现率一直是人们关注的焦点，虽然有人坚信69%的MB2可以被术者发现，但通常情况下用肉眼寻找MB2总有遗漏现象，近年来由于根管显微镜的使用，发现MB2的几率才显著提高。



（A）　（B）

图9–31　上颌第二磨牙双根管

（A）髓室底根管口　（B）根管

多数学者认为上颌第二磨牙三根管口出现的几率最为普遍，因此，在临床上对上颌第二磨牙的根管治疗中，最初在髓室底探寻根管口是以三根管口为标准寻觅的。为了使寻觅根管口快捷方便，有人探索测量各根管口间的相对距离来达到快速准确的定位，但个体之间的差异很难用均数表达，因而可以使用

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

某一区间值限定寻觅的范围，供临床操作时参考，其结果是近颊根管口与远颊根管口相距约 1～2mm，近颊根管口与腭根管口相距约 3～4mm，远颊根管口与腭根管口相距约 3mm。在临床实际操作中，寻觅根管口的顺利与否还与患者张口度、牙体的破坏情况以及患者的年龄等因素有关。

二、根管系统

在上颌第二磨牙根管形态中，可以出现根管的各类分型，该牙的根管和侧副管结构同样具有多种形态。有人撰文指出，按 Vertucci 的根管形态分类，根管的 8 种类型（Ⅰ～Ⅷ）均可在上颌第二磨牙的根管形态中遇见。

上颌第二磨牙的根管总数通常有 3～4 条（图 9-32）。调查显示，4 条根管出现的几率较上颌第一磨牙出现的几率低。上颌第二磨牙常见 3 个牙根，但出现了 4 条根管，这其中呈双管穿越同一牙根的也多见于近中颊根。有人在研究牙根的切面外形与其内穿行的根管数目后指出，若牙根的切面为长椭圆形则内部包含双根管的几率大为增加。

现有资料显示上颌第二磨牙的根管系统形态中，牙根内的主根管均以Ⅰ型为主，即 1-1 型（图 9-33）；其次 1-2 型，2-1 型和 1-2-1 型也占相当比例。由于各研究者统计样本量和显示根管的方法不同，其具体比例也不尽相同。根管的形态和类型是否有地域及居民人群间的差异，是值得研究的问题。现有资料表明在蒙古地区的人群上颌磨牙的根管多为 1-1 型。根管系统中的根管侧支、根尖分歧、根尖分叉和副根管在上颌第二磨牙中也较常见，并且在该牙的近中颊根、远中颊根和腭根中均可遇到，只是在各牙根所占的比例不同，总体上根尖分歧、根尖分叉在三个牙根的发生率不会超过 25%，发生在根尖的分叉或分歧多为 2～3 支。

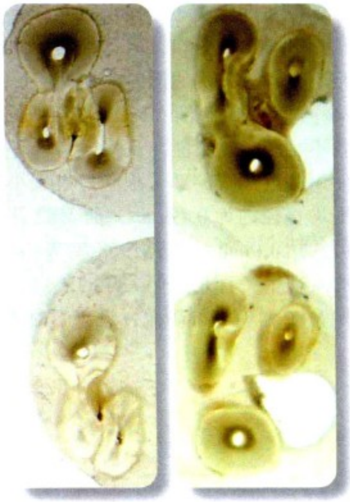


图 9-32　上颌第二磨牙根管横切面

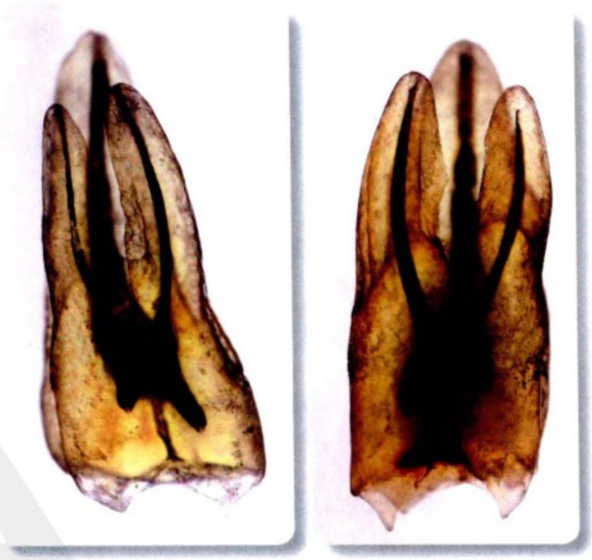


图 9-33　上颌第二磨牙三根均呈单管单口型

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

上颌第二磨牙在外形上会出现一定比例的融合根形态，这对其内穿行的根管形态影响甚大。有人统计该牙融合型牙根形态约占 18%。根据作者所抽样观察到的上颌第二磨牙，牙根形态存在变异，而且可划分为多种类型，但融合根外形比例远低于此值。融合牙根对根管系统的影响是其在牙根内易形成管间吻合，此源于牙根发育过程中 Hertwig 上皮根鞘断裂或上皮鞘围绕血管生长所致。

近中颊根内通常有 1 ~ 2 条根管，根管平均长约 17mm，出现双根管的几率远较上颌第一磨牙近中颊根低。该牙根的单根管型（1–1 型）约为 64%，另有部分根管属于单口单孔的划分类型，实际根管在行进中有分 – 合形态，如 1–2–1 型有人统计占相当比例。

有关上颌第二磨牙近中颊根内为双根管形态者，各家报道数据差异较大，有人报道高达 70%，也有人认为只有约 6%，出现如此大的差异，关键是对双根管划分标准不同，以及样本量的大小不一，其结果就会分歧很大。

除了单、双根管的形态影响根管治疗外，根管系统中的其他结构形态对治疗效果也会产生影响，根管侧支、根尖分歧、根尖分叉和管间吻合均可在近颊根管出现。虽然根尖分歧和根尖分叉在解剖形态上有明显差别，但临床意义两者相近，都对根管预备和根管充填的难度产生直接影响。研究结果显示近中颊根的根尖分歧发生率为 14.6%，根尖分叉发生率只有约 4%。近中颊根内的管间吻合并非罕见，不过发生的几率目前未见具体报道。上颌第二磨牙的近中颊根的根管侧支发生率为 13.1%，远高于远中颊根和腭根。

远中颊根内的根管系统较近中颊根内的根管系统形态简单。有学者报道主根管在人群中约 98% 的个体只有一条直行的根管存在，即 1–1 型（图 9–33）。但这种单一形态结构的报道资料并不普遍，多数学者还是认为其他类型的根管仍可遇见，如 1–2–1 型和 1–2 型，只是它们所占的比例较低。上颌第二磨牙远中颊根管的根管侧支发生率约为 7.8%，根尖分歧发生率为 3%。由于样本展示出的根管形态 98% 为单根管，故该牙根内很少见到管间吻合，基于此远中颊根的根管预备和充填要比近中颊根容易得多。

上颌第二磨牙腭侧根管研究显示，该牙的三个牙根中以腭侧牙根最为粗壮，因而内部穿行的根管也属腭根管粗而直（图 9–33）。研究均显示该牙的腭侧根管几乎全为单口单管，有人进行了数千例该牙样本观察后指出，只有 1 例显示为 2–1 型根管；Cleghorn 也著文指出腭侧根管 99% 为单根管。腭根也具有根管侧支、根尖分歧、根尖分叉等侧副管形态，统计研究显示，腭根的根管侧支发生率约为 3.9%，根尖分歧和根尖分叉的发生率均为 6.8% 。

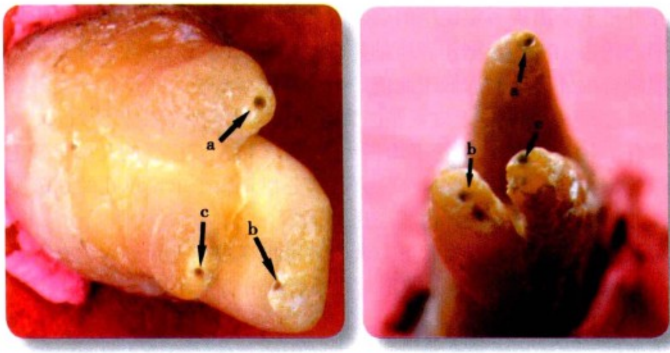
在上颌两个磨牙的根管形态比较中，值得指出的一点是牙根的外形可以影响根管的空间构筑。上颌第二磨牙与第一磨牙在比较中除三根间的分叉度小外，根形态的变异也较常见，特别是上颌第二磨牙的融合根形态，在变异的根外形中可高达 18%，因此，牙根内穿行的根管也随之改变了空间构筑形态，这在根管治疗前的 X 线辅助诊断中应引起注意。融合根极易产生管间吻合，即易出现双根管，但融合根的根管容易疏通，这比近颊根内的双根管较易预备。另一有意义的现象是该牙的双根管和管间吻合随着个体的年龄增加其出现率降低，原因有待探索。融合根内的根管类型从 Ⅰ 型 ~ Ⅴ 型均可出现，然而以Ⅳ型和Ⅴ型出现的几率最大。

有人报道上颌第二磨牙的副根管发生率高达 40.3%，查阅现有的资料，表明副根管的出现几率并不高，虽然目前还没有具体的结论，但通过我们已做的研究结果显示不会超过 10%。

三、根尖孔与侧副孔

有人在研究上颌第二磨牙的所有根尖孔和侧副孔的形态特征后指出，这些根管系统的开口形状可归结为四类：圆形、椭圆形、肾形和不规则形（图 9–34）。开口呈圆形的比例最高，约占 61%，不过孔径有大有小，平均变化在 0.09 ~ 0.26mm；另一类开口形状为椭圆形，此类形态约占 37%，平均变化在 0.12 ~ 0.28mm。理论上讲根管预备时很容易超出根尖孔，从而将感染组织推到根尖周。除了前两类形态外，还有一类呈肾形的根尖孔，但它们所占的比例不高，约占 1.3%；最少见的一类根管开口呈不规则的缝隙状，此类形态只约占 0.43%，因为少见，可视为形态异常。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　　　　（B）

图 9-34　上颌第二磨牙根尖孔的形态与位置

（A）a. 圆形，位于根尖顶点；b. 椭圆形，位于侧面；c. 圆形，位于根尖顶点
（B）a. 椭圆形，位于侧面；b. 椭圆形，位于侧面；c. 椭圆形，位于根尖顶点

根尖孔并非全部开口在根尖顶点，该牙颊侧的两个牙根（近中颊根和远中颊根）均只有 35% 的根尖孔开口在根尖顶点，腭根根尖孔在根尖顶点的比例要高一些，平均约为 59%。每个牙根除了根尖孔外，还有侧副孔通向牙周。研究结果显示，侧副孔的数目远多于主孔的数目。

第三节　上颌第三磨牙髓腔形态

上颌第三磨牙的髓腔形态被人们关注的时间较晚，主要原因是该牙的功能处在退化中，并且又位于牙弓的末端，即使需做根管治疗但操作也十分困难，所以一直以来第三磨牙的髓腔形态很少受到重视。近年来，由于使用上颌第三磨牙移植替代缺失的邻近牙，为了避免或减少移植牙形成炎症反应，去除被移植牙体的牙髓组织已成为常规处理。因而，人们开始注重第三磨牙的髓腔形态规律。

上颌第三磨牙由于受功能退化的影响多有变异，它是全口牙中形态变化最大的牙之一，髓腔变化亦有其特点，主要表现为髓腔大、根管粗、髓角较矮。

一、髓　　室

上颌第三磨牙的髓室与第一、第二磨牙的髓室基本结构一样，也有六面髓壁将髓室围成立方体的空间，其中四面轴相髓壁与牙体长轴一致，相比第一、第二磨牙，其髓壁较薄（图 9-35），这与该牙萌出时间晚有关，同时继发性牙本质在髓壁面沉积量也较少。朝向㘝面的髓室顶上有髓角，髓角数目与发育完全的牙尖数一致，通常有 3 个，也可高于或者低于此数目，这与变异的牙体外形有关。髓室顶的最凸点在颈线的㘝方，与髓室底之间通常存在一定距离，距离大小与继发性牙本质沉积量有关（图 9-36）。



图 9-35　上颌第三磨牙的四面轴相髓壁

髓室底位于颈线的根方，髓室底的根管口数目与该牙的根管数及其根管形态有关，根管口多为圆形或卵圆形（图 9-37，图 9-38），当该牙为融合型单根，根内又只有一条根管时，此时根管口更似漏斗状，因此，探入的器械很容易伸入该牙的根管内。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

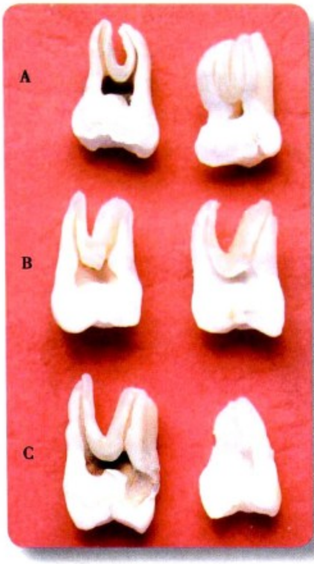


图 9-36　上颌第三磨牙髓腔纵切面观

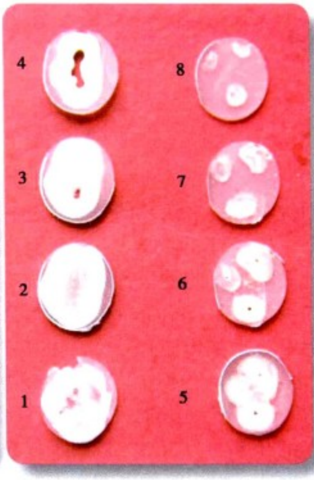
（A）颊侧近远中向切面　（B）近中颊舌向切面　（C）远中颊舌向切面



图 9-37　上颌第三磨牙的常见根管口外形



（A）



（B）

图 9-38　上颌第三磨牙连续水平切片

（A）上颌第三磨牙颊面观　（B）上颌第三磨牙横切面观

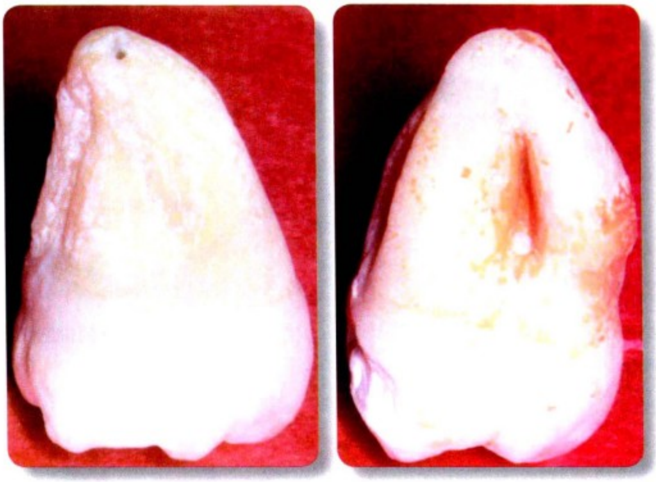
二、根 管 系 统

上颌第三磨牙的根管形态及根管数目受牙根外形的影响，由于该牙的牙根形态多变异，直接导致牙根内部的根管数目和根管形态不确定性增大，若按 Vertucci 的分类则难于涵盖该牙的根管形态。

有学者在研究上颌第三磨牙的外形时，根据牙根的形态特点将其划分为融合根形态和分叉根形态两

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

大类型，其中融合牙根根据外形又可分为完全融合和不全融合两个亚类（图 9-39），此点对认识那些融合成单根形态的内部根管构筑很重要。统计显示上颌第三磨牙的融合根高达 72%，但真正呈完全融合形态的牙根只占 21%，不全融合根形态比例较高，这表明有根分叉痕迹或短距离的根分叉的牙根最为常见，而且内部根管的构筑形态也较融合成锥状的牙根根管空间构筑复杂。分叉形牙根在上颌第三磨牙很容易理解，也较简单，牙根有两根或三根，在每个牙根内穿行的根管可为单根管、双根管或单双混合型根管。



（A） （B）

图 9-39 上颌第三磨牙的融合根形态分类

（A）完全融合 （B）不全融合

根管类型和根管数目研究显示，在该牙的每一个牙根内只有 1 条根管，即该牙若有三个牙根就有 3 条根管；若只有两个牙根就只存在 2 条根管，形态比较单一，此类根管结构在样本中约占 46%，它们的形态特点对任一牙根而言均是单根单管形态；在上颌第三磨牙的根管分型中另一类型是牙根有分叉，但其中一根内存在 2 条根管（图 9-40），虽然整个牙体的根管数没有增加，然而其中的根管形态变复杂了，这无疑是增加了根管治疗的难度，统计显示在一根内出现双管的几率约为 30%。同时抽样还发现一个牙根内可出现 3 条根管，这种一根三管的形态在上颌第三磨牙约占 18%，严格地说这已不是传统意义上的单根形态，因为此类牙根多为融合成锥状的单根外形而已，它的内部虽然是 3 条根管 [图 9-41（A）]，但实质上是多牙根融合的结构，而非真正意义上的单根；这种融合型锥状根内也可能有 2 条根管 [图 9-41（B）]；也可能只有 1 条根管贯穿其中，表现为一条粗大的融合型根管，并且与髓室相互移行 [图 9-41（C）]，这类根管操作中较为便捷。



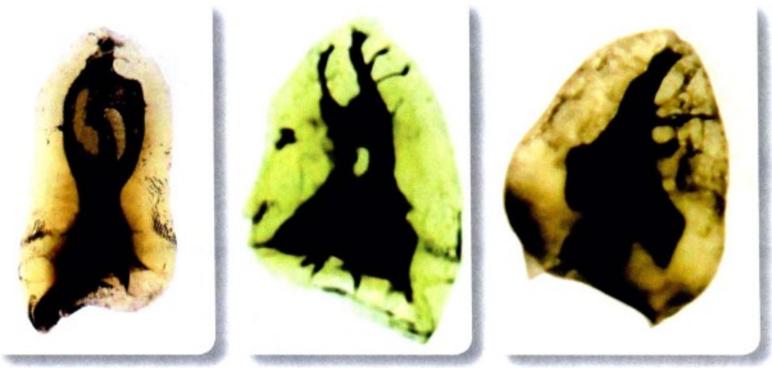
图 9-40 上颌第三磨牙的一根双管形态

在上颌第三磨牙的分叉形牙根中，根管的构筑有如下特点

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

可供参考：近中颊根的根管类型统计显示多为Ⅰ型和Ⅳ型。一些学者的研究结果显示，近中颊根约28.5%为1-1型，另外2-1型和2-2型也会出现，但它们所占比例并不高，均只有约3.29%。远中颊根的根管在Vertucci分类中几乎全为Ⅰ型（图9-42），但在皮昕等的统计结果中，除1-1型外还有2-1型和1-2型两类，然而所占的比例不超过5%。腭侧牙根的根管类型与上颌第一和第二磨牙的腭根内部根管构筑无实质差异，多为粗而直的根管形态，不过典型的1-1型只约占17%。

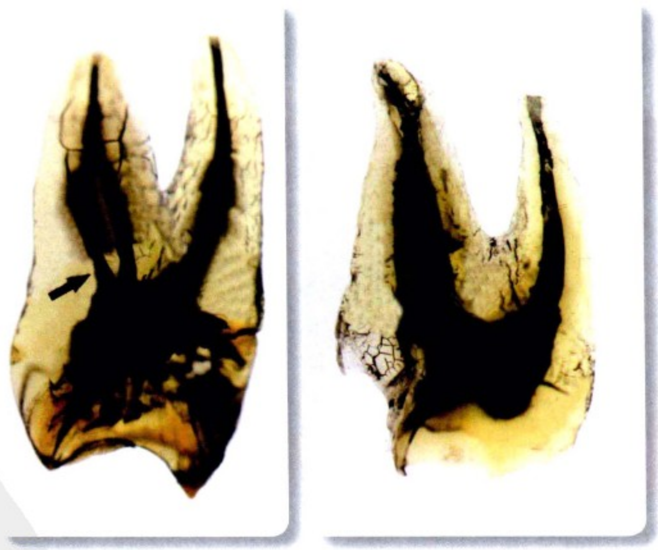
有关上颌第三磨牙的侧副管研究资料不多，从已有的调查结果显示，任何发生在其他磨牙的侧副管形态，均可以在该磨牙出现。作者在抽样调查后发现，常出现的侧副管形态有根管侧支、管间吻合、根



（A）　（B）　（C）

图9-41　上颌第三磨牙融合根内的根管形态

（A）三管　（B）双管　（C）单管



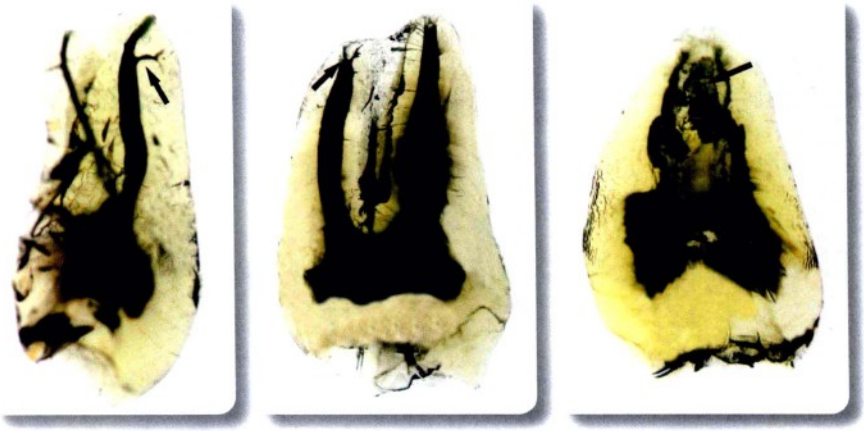
（A）　（B）

图9-42　上颌第三磨牙的根管形态

（A）近颊根管2-1型，远颊根管1-1型　（B）近颊、远颊根管均呈1-1型

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

尖分歧和根尖分叉（图 9-43），但在所收集的样本中未发现副根管形态。近年来对根管峡的研究有不少报道，这种特殊的形态结构，在上颌第三磨牙的根管系统中也时有存在。



（A）　（B）　（C）

图 9-43　上颌第三磨牙的侧副管形态

（A）根管侧支　（B）根尖分叉　（C）管间吻合（根管峡）

三、根尖孔与侧副孔

根尖孔的位置和形态与其他磨牙结构相似，根尖孔外形也多呈圆形或卵圆形，其位置也只有部分位于根尖顶点（图 9-44），另有相当比例的根尖孔分布在根尖段四个轴面任意一侧。由于上颌第三磨牙的萌出时间较晚，根尖孔的发育也晚于其他牙齿；人类的颌骨量逐渐减少，该牙萌出时因位置不足而阻生，尤其年轻人拔除该牙时根尖孔未发育完成，其形态呈喇叭口状（图 9-45）。



（A）　（B）

图 9-44　上颌第三磨牙根尖孔的形态与位置

（A）不规则形，位于侧面　（B）a. 圆形，位于根尖顶点；b. 椭圆形，位于侧面；c. 圆形，位于侧面

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



图 9-45　正在发育中的上颌第三磨牙根尖孔

（杜昌连　杨　磊）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第十章

下颌磨牙髓腔形态

下颌磨牙的髓腔形态与上颌磨牙的髓腔形态存在较大差异，除了在空间方位上的反像外，其形态也有所不同。在空间方位上，下颌磨牙的髓腔与机体的解剖方位完全相同。如髓室顶位于上方，髓室底位于下方，髓室顶延伸的髓角也向上方，空间描述与操作过程保持一致，对初学者易于建构立体印象和记忆。然而这一点在上颌磨牙区则对形态理解和记忆容易产生误差，因为在机体内上颌磨牙的髓室顶在解剖方位的下方，与此对应的根管口和根管均在解剖方位的上方，虽然这些结构都位于牙根方向，但这与传统的解剖姿势位定义不同。

下颌磨牙髓腔形态上的差异，首先是髓室的外形特点。与上颌磨牙髓室相反，下颌磨牙髓室近远中径＞颊舌径，髓室底多呈近远中向的长方形；其次上下颌磨牙的髓室高度也有较大差异。研究资料显示，上颌磨牙髓室顶－底高度平均约为2mm，但下颌磨牙组中这一高度平均约为1.5mm；对于老年人牙齿这一高度会更低，因而在开髓时下颌磨牙要比上颌磨牙更容易发生穿通髓室底。

下颌磨牙多为双根形态，根管口的分布呈近远中方向（图10–1），根管数目则由于近中牙根单根双管的几率较高，所以与上颌磨牙的根管数目无显著差异。在髓室底上，近中根的两根管口呈颊舌向排列，并相距较近；近中根管口与远中根管口相距较远，此与上颌磨牙两颊根的管口相距近而颊腭根管口相距较远有明显的不同，这在揭开髓室顶后寻觅根管口时值得注意。下颌第二磨牙髓室底若呈蹄铁状形态，牙根中就有高比例的C型根管存在，这些形态特点在上颌磨牙中较少见。



图10–1　下颌磨牙髓腔形态X线显示

第一节　下颌第一磨牙髓腔形态

下颌第一磨牙是下颌磨牙组中牙体体积最大者，其髓腔容积也为最大，而且牙体外形与其他磨牙外形有较大差异，牙体内部的髓腔也有独特的形态特点。首先髓室顶上的髓角数目是上下磨牙组中最多的，其次在根管与牙根的分布中，单根双管也是磨牙组中最常见的形态特征。

从髓腔形态投影观察，髓室位于牙冠的中1/3至根干内，空间外形呈长箱状，髓室底的投影通常位于颈线下2mm的根干内，髓室顶中间凸向下方，最凸处与颈线平齐（图10–2）。由于下颌磨牙在牙列上向舌侧倾斜，致使牙体内部的髓室也倾向舌侧，因此在揭开髓室顶时，向髓室底方向扩展过程中，不可过分偏向舌侧垂直磨除硬组织，否则易导致舌侧髓壁的侧穿；或者过多地磨除牙体硬组织，会引起日后修复牙的舌侧抗力下降，导致牙冠折裂。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

一、髓 室

下颌第一磨牙髓室的六面髓壁围成的立体空间呈长方体形，髓室的近远中径大于颊舌径，颊舌径又大于髓室顶底之间的高度。虽然髓室底中部常凸向髓室顶方向，但这种凸度远较髓室顶平缓，髓室顶最凸，这使髓室的有效容积大大减少，最凸处约与颈线平齐，在高龄个体中，髓室顶的最凸处会低于颈线，使得开髓过程中从髓顶向根方因磨除较多的组织，致使操作者疑虑是否穿通了髓室底而不敢向根方探寻。

下颌第一磨牙的髓室顶呈长方形，髓室顶的颊舌径小于近远中径，其中部隆起凸向髓腔。在髓室顶上有5个髓角，它们分别斜对牙冠𬌗面的5个牙尖（图10-3），其中近舌髓角与远舌髓角高度相近，两者均接近牙冠中1/3，近颊髓角、远颊髓角和远中髓角较低，位于牙冠颈1/3或颈缘附近。由于髓角伸向牙冠𬌗面的距离因牙尖位置不同而有差别，因此该牙牙体预备时，不同部位的牙尖发生穿髓的几率也有差异，这应引起临床工作者的注意。



图10-2 下颌第一磨牙髓腔纵切面观
（A）近远中向切面 （B）近中颊舌向切面 （C）远中颊舌向切面



图10-3 下颌第一磨牙髓室顶（示髓角）

下颌第一磨牙的四面轴相髓壁分别为近中髓壁、远中髓壁、颊侧髓壁、舌侧髓壁，颊舌两壁近远中宽度几乎相等，而远中髓壁的颊舌向宽度比近中髓壁的颊舌向宽度稍小，这是由于该牙的近中面较远中面平直所致。在垂直于牙体长轴的水平切面上，四面轴相髓壁将髓室围成长方形（图10-4），测量显示，近远中向平均距离约3.4mm，颊舌径平均距离约2.8mm。在年轻人的髓腔外形上，除了远中髓壁外，其他三个面均较平缓，远中髓壁在水平切面上呈新月状，即髓壁的远中凹陷。然而随着年龄的增长，在髓腔面继发性牙本质的沉积下，使得平滑的髓腔面变得隆凸（图10-5）。隆起的髓壁部分以中部最为突出，因而老年人髓室在横切面上呈现出髓室轴面交角十分明显，髓室的容积减少。

四面轴相髓壁的继发性牙本质沉积速度并不一致。有研究表明，颊侧和近中髓壁的沉积速度快于舌侧和远中髓壁的沉积速度，目前原因还不清楚。由于颊侧和近中髓壁不断增厚，髓室空间相对向舌侧和远中方向偏移，故在开髓过程中，操作者应将开髓窝洞向牙冠𬌗面的舌侧和远中方向稍作偏移。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A） （B）

图 10-4 下颌第一磨牙连续水平切片

（A）下颌第一磨牙颊面观 （B）下颌第一磨牙横切面观

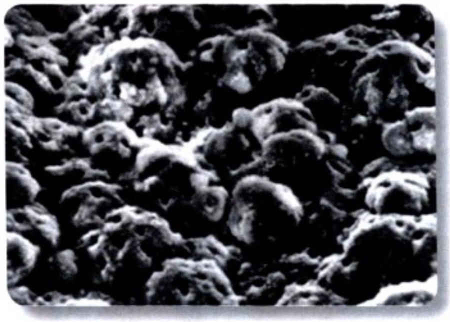


图 10-5 髓腔面继发性牙本质沉积（电镜观）

下颌第一磨牙的髓室底位于颈线以下，四面轴相髓壁与髓室底将其围成一个具有独特形态的区域。人们按下颌第一磨牙髓室水平切面的形态，将其划分为三种类型，即由四面轴相髓壁围成的清晰的四边形，或由于远中髓壁有转折，结果髓室切面呈五边形。其中以四边形最为普遍，在群体中通常约占 73%，五边形约占 26%；在研究样本中还有一种少见的形态——无边角形，即髓室水平切面呈椭圆形，四面轴相髓壁转折连接处呈弧形，无明显的边角形态，虽然在样本中所占比例不足 1%，但这种形态对临床开髓操作有明显影响。同时也有研究资料显示，下颌第一磨牙的髓室底形貌也存在多种外观，研究者多将其划分为三种基本类型，即宽平型、宽凸型和窄凹型（图 10-6）。所谓宽平型和宽凸型，差异主要是后者在髓室底有呈丘状堆积的牙本质，但两者所展示的髓室横切面均较宽阔，因此器械可以自由滑动，这有利于寻觅根管口。窄凹型的髓室底，表现为髓室底从近中向远中呈凹槽状，髓腔的水平切面近远中径和颊舌径的比值明显大于宽平型近远中径和颊舌径的比值，在该类形态的髓室底寻觅根管口时，探寻器械在颊舌方向的移动受到限制，而近远中向的移动影响较小。资料统计显示这三种髓室底形态，以宽平型在人群中所占比例最大，在抽样中约占 58.3%，而宽凸型和窄凹型分别约占 20.8%。在观察到的样本中，无论髓室底是宽凸型或是宽平型，实际上该腔面并非想象中的平展面，而是在底面上有沟走行。其沟走行有两种形式：一种形式为中央沟型，该沟从髓室底的中央经过，行走方向为从近中向远中，连接靠近两髓壁边缘的根管口，此类沟型约占 50%；另一种形式为侧沟，其走向仍然为近远中方向，但常偏向一侧，或偏颊侧，或偏舌侧，但均为单沟，此种类型约占 42%，沟的两端也联系着根管口。另外还有一种少见的类型，称双沟型，此类在研究的样本中约占 6%，该两条沟分别靠近髓室底的颊侧和舌侧，在沟的起止两端也均联系着近中和远中的根管口，此类型多见于宽凸的髓室底样本中。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A） （B） （C）

图 10-6 下颌第一磨牙髓室底形态

（A）宽平型 （B）宽凸型 （C）窄凹型

髓室底的形态分型除了上述多见的三种类型外，另还有蹄铁形或弧形两种少见的髓室底形态。由于髓室底的沟两端联系着近远中的根管口，该类型对临床揭去髓室顶后探寻根管口有帮助，即沿着沟的走向在其尽头作为参照，引导器械找到根管口。此外，由于髓室底出现凹沟，这些深陷的髓室部位，最容易滞留炎性组织，若治疗中清理不彻底，可使治疗失败。

髓室底上的根管口通常也与该牙的根管数目相一致，通常有 3～4 个，即近中 2～3 个根管口，远中 1～2 个根管口。也有报道下颌第一磨牙的髓室底可见到 5～6 个根管口。其根管口的形态有圆形、卵圆形和长条状等多种形态（图 10-7），众多研究资料均认为该磨牙髓室底的根管口以圆形和卵圆形多见。



图 10-7 下颌第一磨牙髓室底根管口形态

在寻觅根管口时，除了可以在髓室底沿着髓室底沟探寻根管口外，也有人提出可以将根管口之间的距离作为一种寻觅根管口的参考因素。测量显示，约 57% 的近中颊舌两根管口的距离多在 2mm 左右，其次相距在 3mm 者约占 20%，近中两根管口相距 1mm 者比例最低。在下颌第一磨牙髓室底，近中根管口与远中根管口相距约为 3mm，在人群中约占 80%。此外，近远中根管口相距达 4mm 左右，在人群中出现比例不高，约占 20%；在观察中近远中根管口有时相距达 5mm，这种情况罕见，并非普遍形态结构。

在下颌第一磨牙髓室底的远中根位置，多只有一个根管口，若有颊、舌两个根管口时，它们之间的距离要远大于近中两个根管口之间的距离，一项观察显示 70% 的颊舌两口相距约 3mm，另外 30% 的样本两口距离约为 4～5mm。为什么同一髓室底近远中向出现双根管口时，近中两根管口相距小，而远中两根管口相距大？这可能与存在远舌根及远中根的分叉有关，或者远中根存在宽阔的根面沟所致，即该牙自身外形特点导致的结果。

寻觅到根管口后，并非器械每次都能快速地进入根管内，原因是根管口的形态和进入根管的方向常限制器械的伸入，对那些缝隙状的根管口或有高度钙化髓石堵塞的根管口，就会阻碍器械的伸入，加之根管口与根管内呈一定偏角时也影响根管锉进入根管内。研究表明在下颌第一磨牙的髓室底的根管口与延续的根管之间多存在 15°～20° 的偏角，虽然小于或等于 10° 的夹角也占一定比例，然而在实际操作中碰到的几率不高。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

在下颌第一磨牙近中的两个根管中，以近颊根管口与根管呈现 15° 夹角的比例最高。调查显示在样本中可占 70%，大于 20° 或小于 10° 的样本只约占 15%，其间夹角约为 20° 的也约占 15%；远中根管口与其根管的夹角大，超过 20° 的高达 60%，其次夹角在 15° 左右的约占 30%；若个体存在有远舌根管时，正常根管口与根管间的夹角较大，几乎在样本中很少发现夹角有小于 10° 者。

二、根管系统

下颌第一磨牙的主根管通常有 3～4 条，以三根管最为常见（图 10-8）。近中根内多为单根双管，远中根则多是单根单管。测量该牙根管的工作长度显示近中根内双管通常平均长约 17～19mm，远中根管平均长为 18～19mm；若有远中舌根存在，其根管平均约为 15～17mm（图 10-9）。

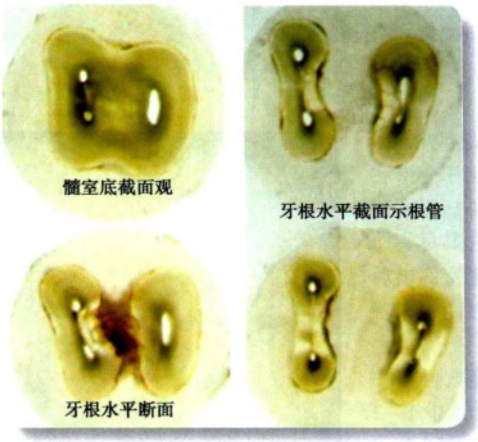


图 10-8 下颌第一磨牙常见的根管类型



图 10-9 下颌第一磨牙三根管

四根管的发生率可能存在地域性差异。Al-Nazhan 认为沙特阿拉伯人下颌第一磨牙的近远中四根管发生率是 57.76%，而 Senegal 则认为只有 25% 的沙特阿拉伯人可能存在四根管；统计科威特人约 1/4 的下颌第一磨牙出现四根管（26.5%），但巴基斯坦人该牙双根的四根管发生率约有 47%，然而统计中国人下颌第一磨牙四根管的出现率只有约 12.5%（图 10-10）。

除四根管外，临床上也可见五根管，因此，开髓后应仔细寻找相应的根管口，在没有根管显微镜或 CBCT 的情况下，可在根管内插入诊断丝借助 X 线片来确定根管的数目（图 10-11）。

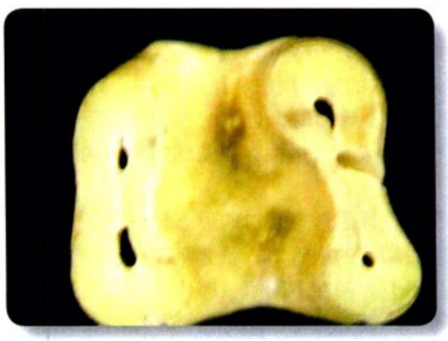


图 10-10 下颌第一磨牙四根管

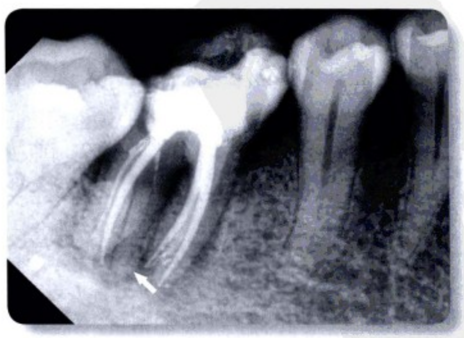


图 10-11 下颌第一磨牙五根管，其中远舌根管遗漏（箭头所示）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A） （B）

图 10-12 近中根内的根管类型

（A）2-2 型 （B）2-1 型

下颌第一磨牙的根管形态，并非像描述的那样一起（根管口）一止（根尖孔）的单一形态，而是在根内行进过程中的主根管可以发出分支或分支间有吻合，以一种复杂空间形态穿行在牙根中，除了主根管外还有侧副管等结构。

按照根管构筑的分类和理解，有人统计了下颌第一磨牙近远中根的根管类型：近中根内的根管为 1-1 型平均约占 12%，真正的 2-2 型占 41%（图 10-12），2-1 型占 28%（图 10-12），1-2 型占 8%，剩余为其他类型。统计显示，下颌第一磨牙远中根内的主根管 1-1 型高达 70%，真正的双根管（2-2 型）只占 5%，而 2-1 型占 15%，1-2 型占 8%。位于牙根实质内的根管类型有无地域差异，目前还缺乏这方面详细资料。曾有学者报道蒙古族居民下颌第一磨牙近中根内 1-1 型占 24%，而远中根中的 1-1 型则只占 4%，这一结果显然与已有的统计资料不同；该牙近中根内的 2-1 型和 2-2 型根管比例占 28%，而在远中根的比例达 40%。

无论该牙的近中根还是远中根，根内穿行的根管为单管形态时，在根管治疗中通常最为便捷；当根内为 2-2 型根管时，在操作难度上会稍大于单根单管型的根管，原因之一是在髓室底寻觅根管口没有单口形便利；当根内的根管类型是 1-2 型或 2-1 型时，此时根管预备的技术难度显然增加，这其中 1-2 型的困难程度又大于 2-1 型根管。

基于对下颌第一磨牙根管预备中难易程度的预测，有人对该牙根管在根内的分叉或汇合位置进行了研究，试图弄清楚这些结构在根颈部、根中部及根尖处出现的几率，结果其间存在显著不同。2-1 型根管发生汇合的位置多在根中 1/3 处，平均约为 49%；另有约 44% 在根尖 1/3 处。1-2 型根管在根内分叉约有 47% 在根颈 1/3 处，另外在根中和根尖这两段根实质内根管分叉比例相等，它们共同占据的比例约为 53%。

上述讨论的内容都集中在主根管的形态，然而侧副管在根管的治疗中也同样重要。侧副管包括根管侧支、管间吻合、根尖分歧、根尖分叉等形态，这些形态在根管预备中器械往往无法涉及，曾一度是造成根管治疗失败的重要原因之一。侧副管在下颌第一磨牙的近远中根内均可发生，但是近中根内出现侧副管的几率较远中根大，研究显示，近中根内出现侧副管的几率可高达 37%，而远中根内则只有 25% 左右。由于下颌第一磨牙的近中根内多有双根管，因而管间吻合发生的几率也大为增加。有人在研究大量样本后指出，近中根的管间吻合最常发生的部位在牙根中 1/3 段。

在该牙侧副管的调查中，各种形态出现的几率有较大的差别（表 10-1），如果在下颌第一磨牙根管治疗时，能预先对根管系统的形态有足够的了解，这无疑有助于对该牙的治疗及术后效果的评估。

表 10-1 下颌第一磨牙各牙根内侧副管形态及发生率（%）

	根管侧支	管间吻合	根尖分歧	根尖分叉
近中根	24.1	19.1	3.8	4.7
远中根	17.7	15.7	2.8	3.8
远舌根	0.4	0	—	0.5

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

从表 10–1 可以看出无论是近中根还是远中根，根管系统中的侧副管以根管侧支最为常见，其次是管间吻合。侧副管在近中根和远中根内所占发生率也较相近，但它们在形态上的差异则是无法比较的，比如同样是管间吻合，但吻合支的数量往往无法有效地统计和显示。根尖分叉和根尖分歧在临床意义上差异较小，形态统计其发生率也较近似，但较根管侧支低，这在根管预备中，利用根管锥度形成根尖止点是有利的。在下颌第一磨牙外形中，远中舌根出现的几率并不高，若根管内再出现侧副管，在理论上讲这本身就是较罕见的个案，因而表中反映结果是可信的，其根内只出现了根管侧支和根尖分叉两种类型。

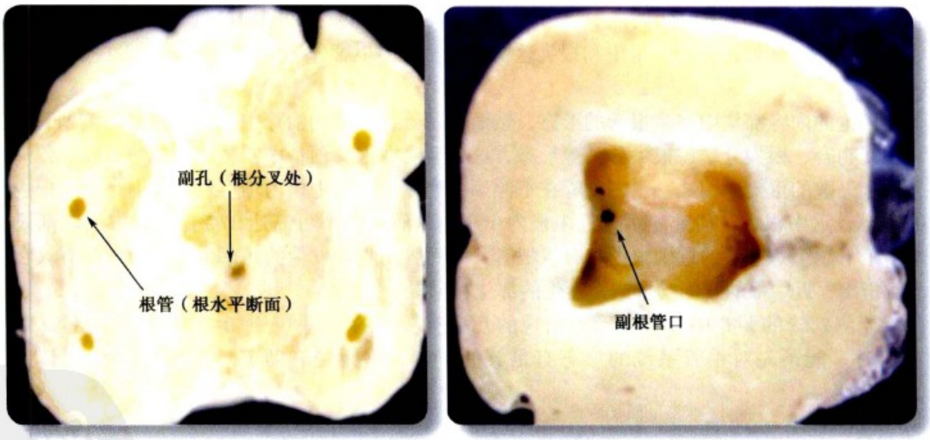
根管侧支是下颌第一磨牙最常见的侧副管类型，其发生部位有无规律可循，对临床操作具有实用意义。表 10–2 是下颌第一磨牙近、远中根内根管侧支出现位置的比例统计。

表 10–2　下颌第一磨牙根管侧支出现部位的比例分布（%）

发生部位	根颈 1/3	根中 1/3	根尖 1/3
比例	3.9	8.0	88.1

统计结果显示，下颌第一磨牙的根管侧支不论是近中根或远中根，该结构形态发生在根尖 1/3 最为普遍。根管侧支的存在对牙髓疾病的治疗带来了一定的困难，由于那些起于主根管的侧支太纤细，以致在 X 线的影像上难于显示，在临床治疗中又很难彻底清理和封闭这些侧支，但是不能忽略根管侧支，随着现代根管治疗技术的进步，已经能处理部分根管侧支。

根管系统中还有一种称为副根管的少见形态。下颌第一磨牙有无副根管，资料多以个案报道。曾有书载，下颌第一磨牙副根管出现的几率在 0.9% 左右，现有资料也认为在该牙出现副根管的几率较低，且副根管通向牙体外的开口多位于两根分叉凹陷部位（图 10–13）。然而副根管的存在有重要的临床意义，它是牙髓病和牙周病相互传播的途径之一。



（A）　　（B）

图 10–13　下颌第一磨牙副根管

（A）髓室底外面　（B）髓室底内面

下颌第一磨牙的近中牙根内常有根管峡存在（图 10–14），并且距根尖 4 ~ 6mm 处出现率最高，有统计显示，在距根尖 5mm 处牙根内，可达 66% 的出现几率。在远中根内也发现过根管峡的存在，通常根

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

管峡的高发部位也位于距离根尖4~6mm处。通常使用X线检测方法，很难发现这类根管系统形态，近年来显微CT在临床上的应用，才逐渐检测到根管峡的存在。在基础研究中，牙体透明技术是唯一能全面展示根管峡的方法。

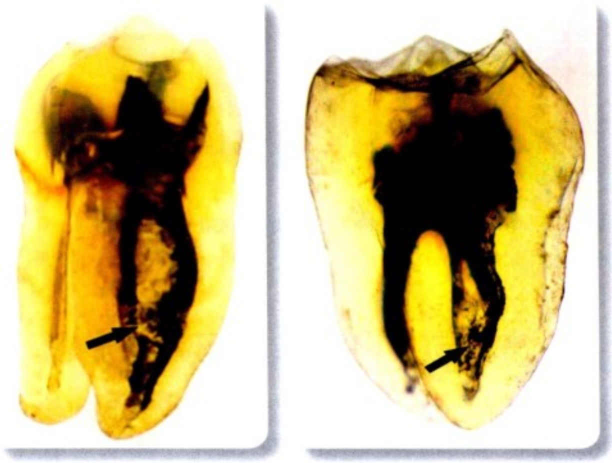


图 10-14 下颌第一磨牙根管峡

穿行在牙根内的根管，随着年龄增长，根管直径也会逐渐减小，此特点与髓腔的增龄性变化是一致的。髓腔容积的改变，在髓室和根管内都在同时进行，因此，高龄以后根管允许通过器械的直径是逐渐减小的。根管预备时除了根管自身的形态结构复杂外，根管增龄性变化也是不可忽略的因素。

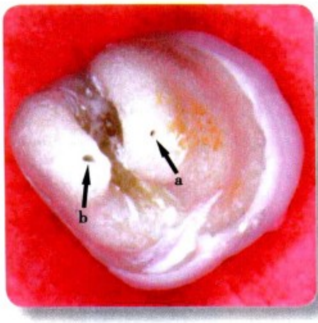
三、根尖孔与侧副孔

根尖孔早期成喇叭口状，随着发育成熟逐渐缩窄为瓶颈状。然而下颌第一磨牙的牙根很少见到呈喇叭口状的根尖孔，因为该牙在儿童乳牙期就已萌出，根尖孔自然缩小的变化过程在恒牙列完成时就已经定型，除非有根管内吸收或根尖外吸收使根尖孔呈喇叭状，健康状态的根尖孔形态是相对恒定的，与根管相续形如瓶颈。

同其他牙位的根尖孔一样，下颌第一磨牙的根尖孔并非全部都位于牙根尖的顶点，而是位于距根尖顶点有一定距离的颊侧、舌侧，近中或远中侧（图 10-15）。这些开口部位在根尖段的具体比例数，目前还缺少统计资料，但公认约超过半数的根尖孔位于根尖顶点，其次是位于根尖的远中侧和舌侧。根尖孔的边界硬组织为牙骨质，在孔内壁牙本质与牙骨质的交汇处距孔的开口平面约有0.5~0.8mm的距离，真正的根尖孔口缘为牙骨质构成，在此有两个生物学上的因素与临床密切相关。其一，牙本质与牙骨质交汇处是根管通向牙体外的最狭窄部位，临床述及的根尖止点（apical stop）即在该处。在根管预备的过程中，这里就是工作长度的止点，在其上方形成的锥形空间，是日后根管充填需密闭的位置，所以此位置可以作为判定充填是否到位的标志点。其二，由于根尖孔开口在牙体表面的一段组织是牙骨质，牙骨质新陈代谢的过程与牙槽骨相似而活跃，因此它极易受牙周病因素的影响。

研究发现下颌第一磨牙78.1%的根管有一个根尖孔，约54.8%的主孔位于根尖。根尖孔的形态传统描述有圆形、椭圆形和肾形等多种形态，甚至某些牙还出现缝隙状根尖孔。但是在下颌第一磨牙的根尖孔中常见的还是圆形和椭圆形两种。圆形根尖孔的直径平均约为0.10~0.21mm，椭圆形的根尖孔最大直径平均约为0.27mm。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）



（B）

图 10-15 下颌第一磨牙根尖孔的形态与位置

（A）a. 圆形，位于侧面；b. 椭圆形，位于根尖顶点；（B）a. 圆形，位于根尖顶点；b. 圆形，位于侧面

第二节 下颌第二磨牙髓腔形态

下颌第二磨牙的髓腔形态与下颌第一磨牙髓腔形态有着明显的不同，除了髓室的空间容积减少，髓角数目、根管外形均与下颌第一磨牙的这些结构存在较大差异。可以说 C 型根管在我们已讨论过的根管形态中十分少见，但在下颌第二磨牙则是一个非常普遍的根管类型。因此，在结构形态上，上颌磨牙髓腔之间共性多，而下颌磨牙髓腔之间的差异大，这是本节所要强调和阐述的内容。

一、髓 室

下颌第二磨牙的髓室近似呈一个立方体空间（图 10-16，图 10-17），虽然髓室的近远中径大于颊舌径，但其间差值甚小，这与下颌第一磨牙髓室的近远中径明显大于颊舌径有较大差异，而下颌第二磨牙髓室的颊舌径大于髓室顶 - 底之间的高度则更为明显。

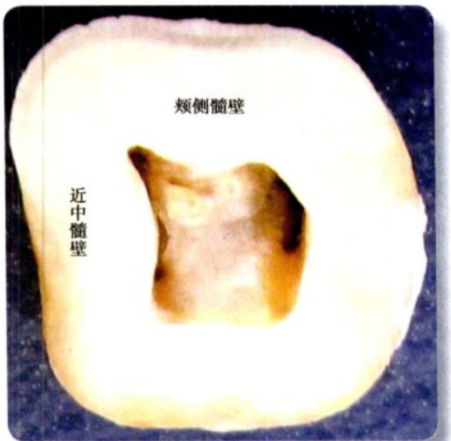


图 10-16 下颌第二磨牙髓室形态



图 10-17 下颌第二磨牙髓腔纵切面观

（A）近远中向切面 （B）近中颊舌向切面 （C）远中颊舌向切面

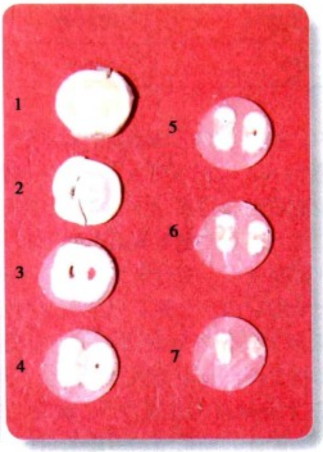
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

髓室顶近似方形，上有四个髓角，以舌侧髓角较锐，髓室顶中部凸向髓室底方向（图 10-17）。

通常情况下，下颌第二磨牙的四面轴相髓壁均较平直，只是远中髓壁较近中髓壁面积稍小。四面轴相髓壁进行比较，它们靠近颈缘处的髓壁厚度较接近，冠中 1/3 水平切面近中髓壁较厚，而舌侧髓壁较薄（图 10-16，图 10-18），因此开髓治疗时，导致舌侧髓壁的损伤或侧穿的几率较高。有研究表明，在人群中真正四面轴相髓壁厚度接近者只占 33.3%，也就是说在人群中约 1/3 的个体才是四壁等厚。然而也有人认为开髓侧穿髓壁与舌侧髓壁较薄无关，而是由于下颌第二磨牙的长轴向舌侧倾斜所致，当垂直于牙体长轴磨除牙体组织时就容易将舌侧硬组织去除较多而侧穿舌侧髓壁。



（A）



（B）

图 10-18　下颌第二磨牙连续水平切片

（A）下颌第二磨牙颊面观　（B）下颌第二磨牙横切面观

下颌第二磨牙的髓室底在二维平面上多呈方形，颊舌径与近远中径几乎相等，在这一点上与第一磨牙近远中径大于颊舌径的差异甚大（图 10-19）。在某些下颌第二磨牙，由于远中壁比近中壁的颊舌径短，那么方形外观就不典型。此外，在人群中也可以看到髓室水平切面呈三角形者，不过该形态不足 10%。

下颌第二磨牙髓室底也有多种形态，在髓室底中部除了可以出现丘型隆起的宽凸型底面外，也有呈凹槽状的窄凹型。因而下颌第二磨牙髓室底的形态，被众多学者研究后将其划分为四种基本形态，它们在人群中所占比例可参见表 10-3。

从表 10-3 可见，下颌第二磨牙在人群中约有半数的个体（45.8%）显示髓室底较为平滑宽阔；出现宽凸型的髓室底在样本中只占 16.8%，这表明真正的宽而突起的髓室底在下颌第二磨牙比例不高。

下颌第二磨牙有无窄凹型髓室底，在以往的资料中少有记载，这是因为该类型的髓室底较为特殊，其底面向根方凹陷。曾有人认为这是一种异常的髓室底形态，发生比例约为抽样的 1/5。调查结果显示窄凹型的髓室



图 10-19　下颌第二磨牙髓室底近似方形外观

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

底在下颌第二磨牙占 20.8%，与 1/5 的结论很相近，这表明该类型的髓室底还是十分普遍的。在下颌第二磨牙的髓室底为什么会出现高比例的窄凹型髓室底呢？这得从该牙的根外形来解释这种形态特征，下颌第二磨牙的体积本来就较下颌第一磨牙的体积小，而且该牙的根分叉度又小，使得位于根干内的髓室底面积受到限制，当近远中的根管口距离太近时已没有充足的空间留给髓室底，因而髓室底向根尖方向延伸以缓解根管口之间的距离不足。虽然窄凹型的髓室底限制了开髓后寻觅根管口的自由活动空间，但这一类型的髓室底通常有纵沟帮助寻找近远中向的根管口，因而它对根管治疗便利程度影响不大。

表 10–3 下颌第二磨牙髓室底分型及比例分布（%）

分型	宽平型	宽凸型	窄凹型	马蹄型
比例	45.8	16.8	20.8	16.6

在下颌第二磨牙中，还有一类呈马蹄型的髓室底，过去人们的重视程度不够，近年来对下颌第二磨牙 C 型根管的研究不断深入，人们发现 C 型根管的髓室底多呈蹄铁形外观。据统计约有 17% 的样本显示为马蹄型髓室底，也有资料报道高达 57.8%，但实际在总体人群中没有这么高的比例，多数研究结论未超过 31%。下颌第二磨牙马蹄型髓室底形态的出现，也与该牙的外形相关，它源于该牙的根有融合。

下颌第二磨牙的牙根在外形上有分叉型和融合型两种类型。其中融合的牙根由于融合程度不同，又可划分为完全融合和不全融合两个亚型。完全融合型牙根在外形上呈冠宽根窄的锥状，其内的髓室由四面轴相髓壁围成切面近似方形，髓室底因面积小多呈窄凹型。不全融合型牙根，有一类是近、远中牙根在颊侧完全融合，而在舌侧没有融合或部分融合，于是牙根外形呈颊侧融合而舌侧敞开的沟槽状［图 10–20（A）］，该牙的髓室底被挤压成新月形［图 10–20（B）］，牙根在水平切面上呈 C 型，穿行的根管切面有时也显示为 C 型。因此，马蹄型髓室底的出现是由于牙根融合导致，这表明牙体外形改变可以引起髓腔的形态改变，提示根管治疗前的影像诊断对操作具有重要意义。



（A） （B）

图 10–20 马蹄形髓室底的根外形

（A）C 型牙根 （B）新月形髓底

髓室底外形除上述分型间有形态差异外，在髓室底走行的发育沟也不同。髓室底的发育沟形态，对寻觅根管口有引导作用。抽样调查显示，下颌第二磨牙髓室底的发育沟形态共有五种类型（图 10–21），这五种类型及在人群中的分布比例参见表 10–4。

表 10–4 下颌第二磨牙髓室底的发育沟类型及比例分布（%）

发育沟类型	中央沟型（正中沟）	颊侧沟型	舌侧沟型	双沟型	C 型沟
比例	63.3	4.8	4.2	13.6	14.1

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

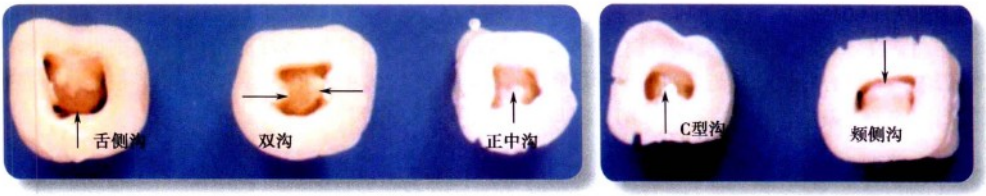


图 10-21　下颌第二磨牙髓室底五种类型的发育沟

下颌第二磨牙发育沟走行髓室底中央，并联系着近远中根管口的中央沟型占 63.3%，这是该牙髓室底的主要类型发育沟。由于该沟延伸流畅，无论髓室底宽平还是窄凹，在揭开髓室顶后，若要寻觅根管口，可沿沟的走行探寻到根管口。髓室底发育沟位于颊侧或位于舌侧的类型在抽样中出现的比例不高，两者合计所占的比例也未超过 10%，并且两者出现的几率也几乎相等。双沟型发育沟在该牙髓室底虽然出现的比例只有 13.6%，但以此寻觅根管口从理论讲也是一种便利性沟型，因为只有当髓室底宽阔时才会出现位于颊、舌侧双沟，探察器械的自由活动空间大，而且颊、舌侧的沟都能引导探寻根管口。髓室底出现 C 型沟的比例仅次于中央沟型（正中沟），约占 14.1%。C 型发育沟多见于马蹄型的髓室底，应该讲这是一类较为常见的发育沟类型，因为下颌第二磨牙融合根形的出现，其髓室底的形态发生变化，从而髓室底的发育沟也产生了相应变化，故在根管预备时若遇根外形融合的下颌第二磨牙，应多考虑到髓室底形态与寻觅根管口之间的关系。

下颌第二磨牙髓室底上的根管口，按已有的研究资料显示，有两根管口、三根管口、四根管口等不同种类型。还有文献报道，在该牙髓室底可见到五根管口。另一种类型的根管口形态，随着对根管系统研究的不断深入，在临床上越来越受到人们的重视，即 C 型根管口。统计资料显示，在该牙髓室底上为两根管口者约占 7%；三根管口者最为常见，它在群体中约占 63%；四根管口明显少于前两者的比例，只约占 9%；反而是髓室底呈 C 型根管口多见，统计比例高达 20%。观察样本中也遇到髓室底上有五个根管口的样本，由于这不是一种常态，只能当个案处理。



图 10-22　下颌第二磨牙髓室底分号型根管口

测量髓室底根管口之间的间距，往往也是寻觅根管口过程中一项重要的参考依据，因为当找到某一根管口时，可以此为参照去寻找另一根管口。研究发现，近中两个根管口之间平均相距约为 2mm，从近中向远中寻找远颊根管口平均约在 3 ~ 4mm。如果下颌第二磨牙有远舌根存在，那么远颊根管口距离远舌根管口的距离平均也是 3 ~ 4mm。最为困难的是在马蹄型髓室底上寻觅根管口，有人测量其髓室底上呈分号型（图 10-22）的 C 型根管口，近远中两根管口的距离是 2 ~ 3mm。

上述谈到根管口之间的距离而没有区分髓室底的根管口类型，致使在使用中这一平均距离时有误差，因此，有人建议按根管口的类型介绍它们的均值，或许对临床寻觅根管口更有帮助，故有了以下的测量统计结果。若下颌第二磨牙髓室底只有两个根管口时，这两口之间的平均距离约为 2.08mm；如果髓室底有三个根管口，则近中颊口至远中口的平均间距离约为 2.43mm，近中舌口至远中口的平均距离约为 2.21mm，两近中口之间（近中颊口和近中舌口）平均约为 1.19mm。当该牙的髓室底出现四个根管口时，显然各根管口之间的距离会发生变化，近中颊口至远中颊口的平均距离为 2.83mm，近中舌口至远中舌口之间平均距离为 2.81mm，近中颊口至近中舌口的平均距离为 2.64mm，远中颊口至远中舌口的

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

平均距离为 1.60mm。

在髓室底寻觅到根管口后，若没有注意到根管口与根管之间存在一定范围的偏角，则很难使器械深入根管内，而且有些根管口与连通的根管之间，存在约 10°～20° 的偏角。因此，现将各根管口与连通的根管之间的平均夹角和它们出现的比例整理归纳（表 10–5），供实践中参考。

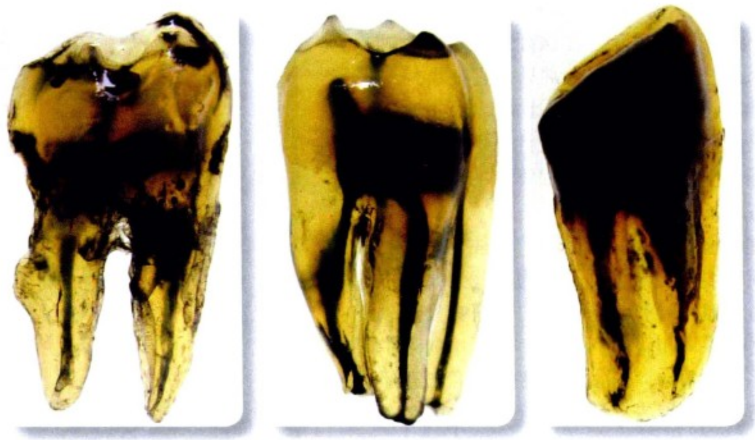
表 10–5　下颌第二磨牙根管口与根管之间的夹角及比例

	近中颊口			近中舌口			远中颊口			远中舌口	
夹角范围（°）	10°	15°	20°	10°	15°	20°	10°	15°	20°	15°	20°
比例（%）	10.3	11.7	7.2	20.4	11.5	2.8	5.7	5.7	23.3	1.4	

最后还需指出一点，根管口的形状往往决定延续根管的数目和形态。因为大量研究结论显示，呈圆形的根管口往往只通向一条根管，而外形呈椭圆形的根管口，则有很高的几率是通向两条根管。特别是呈沟裂状的根管口，通常都有两个或两个以上的根管与此相续，若在根管预备中不仔细寻觅，很可能遗漏根管，造成治疗失败。

二、根管系统

下颌第二磨牙的根管及根管系统远较下颌第一磨牙复杂，原因之一是由于该牙的根外形所致，该牙根外形有双根、三根、融合根等多种形态（图 10–23），从而其内穿行根管也出现多种类型，其中 C 型根管的出现在该牙变得常见。



（A）　　（B）　　（C）

图 10–23　下颌第二磨牙牙根外形

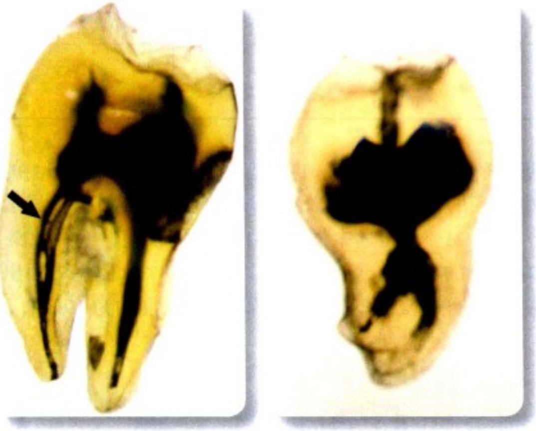
（A）双根　（B）三根　（C）融合根

早期对该牙根管的了解仅限于双根管或三根管的描述，即近中根内双根管常见，远中根内单根管多见。随着对下颌第二磨牙根管形态的研究日益深入，人们发现原来下颌第二磨牙的根管系统与下颌第一磨牙的根管系统存在诸多差异。

按 Vertucci 对根管的分类方法，早期研究的结果为该牙近中根内的根管可划分为 1–1 型、2–1 型[图 10–24（A）]、2–2 型和 1–2 型[图 10–24（B）]四类，其中 1–1 型占 27%，2–1 型占 38%，2–2 型占 26%，1–2 型占 9%；远中根的根管类型 1–1 型占 92%，2–1 型占 3%，2–2 型占 4% 和 1–2 型仅占

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

1%。从结果不难看出下颌第二磨牙的根管类型配比是近中牙根内以 2–1 型、1–1 型和 2–2 型根管为主，而远中根内则以 1–1 型多见，这证实了下颌第二磨牙髓室底最常见有 3 个根管口的结论。



（A）　（B）

图 10–24　下颌第二磨牙根管的根管类型

（A）2–1 型　（B）1–2 型

1–2 型根管在牙根内穿行过程中，在什么位置开始分开，有无规律可循，这是根管研究者较关注的问题之一。现将根管在根内穿行全程分为三段来观察根管分叉的部位，这将为临床医师了解该牙的根管形态提供空间构筑的参考，结果见表 10–6。

表 10–6　下颌第二磨牙 1–2 型根管的分叉部位的比例分布（%）

	根颈 1/3	根中 1/3	根尖 1/3
近中根	41.67	50.0	8.33
远中根	100	0	0

从表 10–6 结果可以看出，先以一条根管起于髓室底后在行进中分为两条根管，此形态形成分支的部位在近远中牙根之间有差异。在近中根内产生分支（1–2 型）的部位可在根颈 1/3，也可在根中 1/3 或根尖 1/3；但以根中 1/3 段的根管发出分叉的比例最高（50%），其次是在根颈 1/3 段（约 41.7%），根尖 1/3 段最少（8%），表明该牙的 1–2 型根管几乎在根中段以上就完成根管的改形。在该牙远中根内 1–2 型根管分叉部位十分明确，根管的分叉只发生在牙根颈段内（100%），其他段根管未见有根管分叉存在。任何牙位的根管分叉位置越接近髓室底，在根管预备中困难度会越小一些，因为导入根管内器械选择进入 A 管或 B 管就相对容易控制一些。

在下颌第二磨牙的 2–1 型根管中，在根内何处合为一管有无规律可循，同样也受到人们的关注。虽然 2–1 型根管在操作中远较 1–2 型根管容易，但根管空间构筑发生了改变，也会影响治疗操作的便利程度，故研究 2–1 型根管在根内的汇合位置仍有必要，研究结果见表 10–7。

2–1 型根管的合并位置与 1–2 型根管的分叉位置之间显然不同。不管近中根内还是远中根内，产生汇合可以发生在根内任意部位，但近中根内以根中 1/3 段最为普遍（54%），远中根内则以根尖 1/3 段最为多见（50%）。所不同的是在两牙根中（近或远中牙根），靠近颈 1/3 段 2–1 型根管发生汇合的比例较

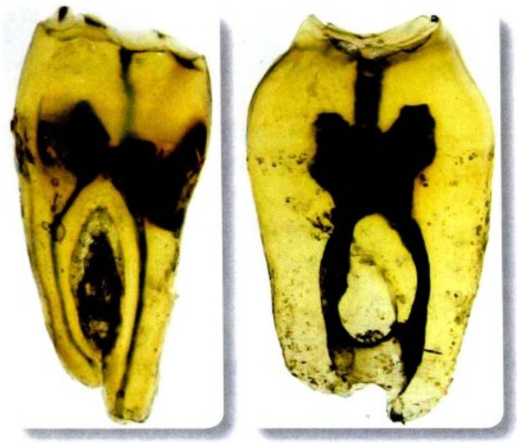
公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

低，而 1–2 型的根管分叉在根尖 1/3 段较低。

表 10–7 下颌第二磨牙 2–1 型根管融合部位的比例分布（%）

	根颈 1/3	根中 1/3	根尖 1/3
近中根	8.1	54.0	37.8
远中根	16.6	33.3	50.0

相对 1–2 型和 2–1 型复杂根管形态而言，1–1 型和 2–2 型（图 10–25）的根管操作就相对容易，但这一类型的根管在群体中出现的比例有限。来源于国内的研究资料统计显示，下颌第二磨牙的近中根内 1–1 型（单根管形态）约占 31%，而远中根内 1–1 型比例较高，约占 49%；在近中根内出现双根管（2–2 型）的比例要高于单根管的比例，统计显示可以高达 58%，但远中根出现双根管的比例就明显下降，只有约 10%。这些根管不论单管或是双管，其平均工作长度约为 19mm，而较短的根管约为 16mm。



（A） （B）

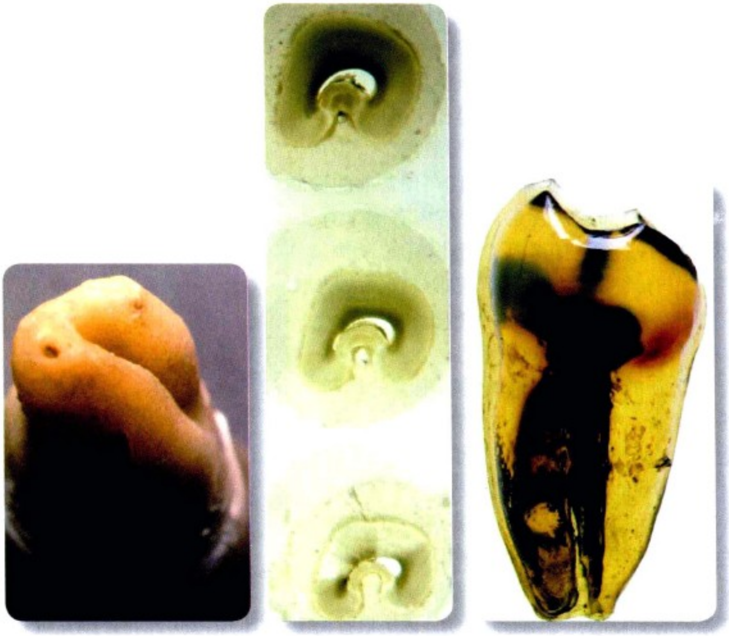
图 10–25 下颌第二磨牙根管类型

（A）1–1 型 （B）近中根内 2–2 型

真正导致下颌第二磨牙治疗复杂的是另一类型根管，即 C 型根管[图 10–26（B）]。C 型根管是近年来研究最多的，并且资料积累较快。此类形态的根管在牙根的外形上就已经有明显变化，它所显示的根外形为融合根形态，被大多数人称为下颌第二磨牙 C 型牙根。所谓 C 型牙根即该牙的近、远中根在其颊侧形成融合，而舌侧为纵行根面沟，牙根整体外形呈沟槽状[图 10–26（A）]。是否在舌侧也有根融合的 C 型牙根，国内未见有资料记载，国外虽然有报道，但发生的几率不高。

现有资料报道，C 型根管在各国居民中出现的几率很不一致，有人认为亚洲居民 C 型根管的发生率最高。就现有研究资料显示，希腊居民 C 型根管发生率约为 4.58%；斯里兰卡居民 C 型根管发生率约为 2%；泰国居民 C 型根管发生率约为 10%；缅甸居民 C 型根管发生率约为 22.4%；韩国居民 C 型根管发生率约为 32.7%；中国本土的居民 C 型根管发生率则高达约 42%。近年来 Carlsen 在下颌第二磨牙根中部横断切片中，发现亚洲人群的 C 型根管出现率高达 42.1%，同期 Weine 在其他地区的调查只有 7.6% 的发生率。但国内部分学者研究认为中国人 C 型根管的发生率平均约为 12.24% 较合乎实际情况。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



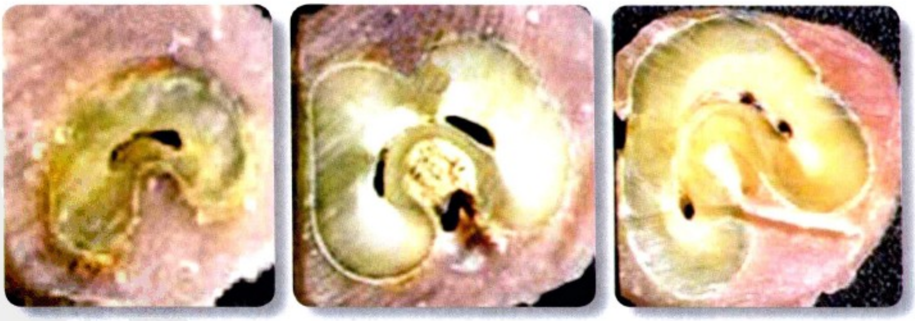
（A）　　　（B）　　　（C）

图 10–26　C 型牙根和 C 型根管

（A）C 型牙根　（B）牙根水平切面　（C）透明法显示根管

在研究中人们发现 C 型根管的形态，并非全都呈 C 形。一般在人们的印象中 C 型根管为一条弧形的裂缝，这条弧形的裂缝外形酷似字母 C，因而称为 C 型根管。实际 C 型空间只是该裂缝在横切面的投影，立体的空间更像半片汤勺状，因此，C 型根管为一曲面的立体空间，从不同方位观察外形是有差别的。

根据根管的横切面形态，可以进一步划分为三个亚型（$C_1 \sim C_3$）。这三个亚型在牙根横切面上各有独立的外形特点（图 10–27）。C_1 型根管在牙根横断面上呈字母 C 形，这是最早所见到该类根管形态的首次命名，并且记录的牙位也是融合型下颌磨牙；C_2 型根管又称分号型根管，该类根管形态在牙根横切面上形似分号，实质上立体的根管被牙本质垂直分隔成相邻的两部分空间，或呈两条扁平状根管缝隙；C_3



（A）　　　（B）　　　（C）

图 10–27　C 型根管分型

（A）C 型（C_1）（B）分号型（C_2）（C）分离型（C_3）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

型根管又称分离型根管，该类根管的牙根横切面上有 2～3 条根管，这些根管的切面或呈圆形，或呈扁圆形，还可呈缝隙状，因而有人又称为分离型根管。C_3 型根管沿着牙体长轴延伸的管道多独立存在，管间也可存在有交通吻合，但在牙根断面上整体外形仍呈 C 形排列，牙根也为不完全融合型。在下颌第二磨牙的 C 型根管分类统计中，C_1 型在整个 C 型根管中约占 53.9%，C_2 型约占 33.3%，而 C_3 型只约占 12.8%，可以看出在人群中 C_1 型所占的比例最大，C_3 型所占有比例最少。

C 型根管在预备中操作十分困难，而且在预备前的诊断中也往往难以肯定，原因是传统的 X 线技术对锥状变形的牙根及其内部的根管走行分辨率有限，有人报道在头颈部 CT 扫描也曾有误判 C 型根管的案例。由于 X 线对 C_2 和 C_3 与传统的直筒型根管很难辨别，故早期在研究下颌第二磨牙根管形态时几乎均归类在 Vertucci 的类型中。但在根管显微镜的发明和使用后，在直视条件下对 C 型根管有了全新的认识，使得该类型根管的诊断与治疗得到明显的提高。有人在根管 X 线投照中，采用插入根管锉留置摄影，那些在两根阴影之间又显示根管锉存在的 X 线牙片，完全可以诊断为 C 型根管，这是使用 X 线诊断较为有效的一种方法（图 10-28）。有关 C 型根管的诊断，过去一直困扰着口腔医师，使用 X 线摄片的诊断率为 72.1%，使用根管显微镜后诊断率提高到 90.7%。



图 10-28　下颌第二磨牙 C 型根管（X 线显示）

在下颌第二磨牙的侧副管中，最常见的形态是根管侧支（图 10-29）。现有研究资料显示，下颌第二磨牙近中根的根管侧支发生率可高达 38.4%，而远中根的根管侧支也约有 23.7%。根管侧支在主根管行进中任一部位发出，将主根管划分为颈 1/3、中 1/3 和根尖 1/3 三段，以此来评估根管侧支发出的部位，结果见表 10-8。

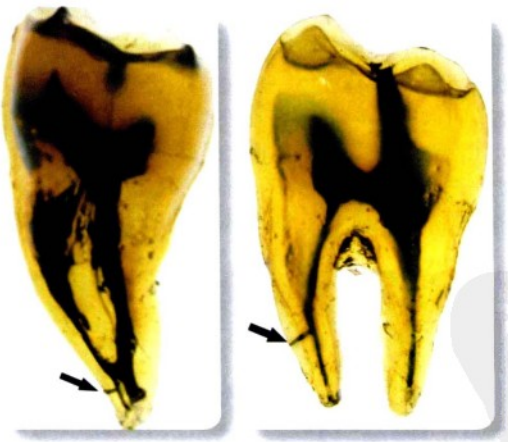


图 10-29　下颌第二磨牙根管侧支

表 10-8　下颌第二磨牙根管侧支出现部位的比例分布（%）

	根颈 1/3	根中 1/3	根尖 1/3	多段点发出
近中根	13.1	13.1	67.3	6.5
远中根	8.1	2.7	86.5	2.7

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

从表 10-8 可以看出，下颌第二磨牙根管侧支发出的最常见部位，不论是在近中根还是在远中根，均以根尖 1/3 段最常见。虽然在根颈段和根中段也有根管侧支发出，但所占比例相对较低，在远中根管内更为明显。此外，在同一牙根内的根管，可以同时多处发出根管侧支，但所占比例不高（近中根内约 6.5%，远中根内更低）。

下颌第二磨牙牙根内多为两条主根管，出现管间吻合的几率较高（图 10-30），特别是在近中根内，这是因为近中根出现双根管的比例远大于远中根。有资料统计显示，近中根内管间吻合的发生率约为 34.6%，而远中根内管间吻合的出现率只有约 4.4%。无论是近中根或是远中根，管间吻合部位多发生在根中 1/3 段。但也有人提出了相反的观点，虽然近中根内出现双根管的比例远高于远中根内出现双根管的比例，但这并不代表出现双根管就一定会存在管间吻合，因而他们的调查显示近中根内管间吻合发生率约为 21.7%。

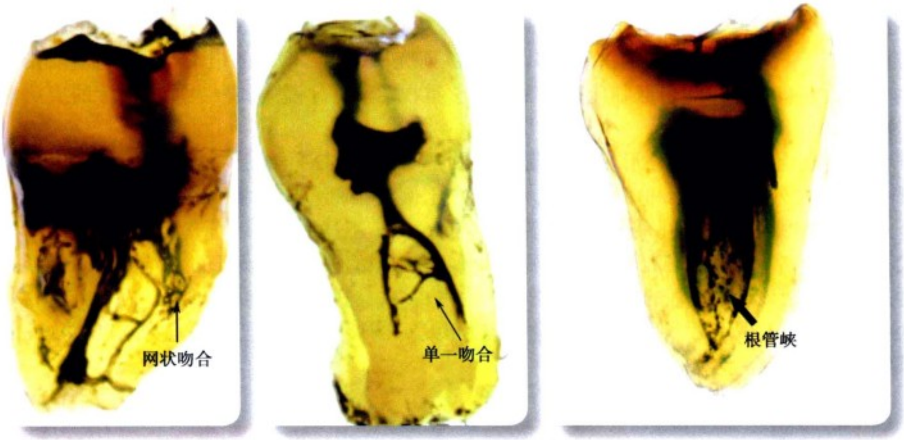
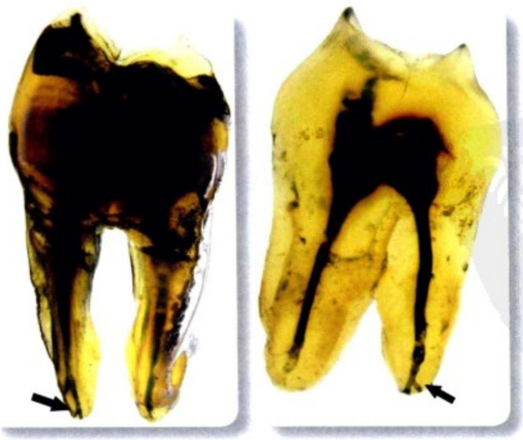


图 10-30　下颌第二磨牙管间吻合形态

下颌第二磨牙的根尖分歧 [图 10-31（A）] 在近中根和远中根之间略有不同，近中根管的根尖分歧发生率约为 2.6%，而远中根管的根尖分歧发生率约为 1.6%。根尖分叉 [图 10-31（B）] 在下颌第二磨牙



（A）　（B）

图 10-31　下颌第二磨牙的侧副管形态

（A）根尖分歧　（B）根尖分叉

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

的侧副管中不但存在，而且远高于根尖分歧的发生率。下颌第二磨牙近中根管的根尖分叉发生率平均约为 12.3%，而远中根管的根尖分叉发生率平均约为 6.1%，两者相差约 1 倍。

三、根尖孔与侧副孔

下颌第二磨牙根尖孔的开口并非都位于根尖顶点。国内有人在观察了下颌第二磨牙的根尖孔开口后指出，该牙真正开口根尖顶点只约占 36.7%，开口偏离根尖的高达 63.3%；Mannings 统计认为只有约 33% 的根尖孔才真正位于根尖顶点，其他根尖孔的开口可位于根尖段四个轴面任一区域，其偏离根尖顶点的距离平均达到 1.7 ~ 1.8mm。国内甚至有人认为下颌第二磨牙约有 80% 的根尖孔位于根尖段四个轴面任一区域，但查阅相关资料后发现，根尖孔位于牙根顶点的比例虽然低，但根尖孔也不会有固定偏向某侧的规律可循，该牙近远中根的根尖孔开口位置所占比例相当接近。研究结果表明，下颌第二磨牙近中根的根尖孔开口于根尖顶点的约占 35.5%，根尖孔偏向侧面的占 64.4%；远中根的根尖孔位于根尖顶点的占 36.6%，而偏向侧面的占 63.3%。有人在研究下颌第二磨牙的根尖孔开口位置后指出，由于该牙的根尖孔开口位置没有引起临床操作者的足够重视，使得牙髓病和根尖周病治疗的成功率波动在 53% ~ 94%。

下颌第二磨牙根尖孔的外形多为圆形或椭圆形（图 10-32），统计显示 94% 的根尖孔为圆形和椭圆形，除此之外还有肾形和不规则形，但所占比例相当低。有人测得圆形根尖孔的直径平均为 0.2 ~ 0.35mm，椭圆形的根尖孔最大径平均为 0.3 ~ 0.46mm。不过另有学者研究后指出，在不同的牙根出现根尖孔的形状有差异属于正常现象。下颌第二磨牙近中根的根尖孔为圆形的平均约占 73%，椭圆形的平均约占 25%；而该牙远中根的根尖孔为圆形的约占 92%，椭圆形的根尖孔少见。在评判这些根尖孔的直径大小时，也有人采用另一些学者的测量值作为参考，圆形根尖孔的直径平均为 0.11 ± 0.03mm，非圆形的根尖孔最大直径平均为 0.27 ± 0.05mm。



（A）　（B）　（C）

图 10-32　下颌第二磨牙根尖孔的形态与位置

（A）两根尖孔均呈椭圆形，位于根尖顶点　（B）两根尖孔均呈圆形，位于侧面
（C）a. 圆形，位于侧面；b. 圆形，位于根尖顶点

下颌第二磨牙根管系统的开口除了主根管的根尖孔外，另外还有侧副管的侧副孔。有人统计该牙侧孔的出现率平均约为 15.3%，甚至有人认为在下颌第二磨牙中约有 1/7 的根尖孔伴有侧孔。侧孔开口的位置几乎全偏离了根尖顶点，偏离的距离平均达 1 ~ 2mm。通常情况下，主孔孔径大于侧孔。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第三节　下颌第三磨牙髓腔形态

由于第三磨牙在以往的认识中属于功能退化的一组咀嚼器官，而且萌出时间晚，导致第三磨牙萌出空间不足而阻生，过去将第三磨牙拔除作为首选治疗方法，所以对其外形和髓腔的研究资料均很少。近年来随着口腔医学的发展，对第三磨牙的功能潜力发掘受到普遍重视，人们为了满足修复、正畸治疗及自体牙移植等多项临床需求，常需对其髓腔形态有充分的了解，于是开始对第三磨牙髓腔进行深入的研究。

下颌第三磨牙在外形上形态多变，体积小于毗邻的下颌第二磨牙，髓腔空间也往往受到外形的影响，而没有像第一、第二磨牙那么多的规律可循，但通常情况下仍有磨牙髓腔形态的某些共同特征。由于采集到的样本多来源于年轻个体，故在髓腔的外形上有如下特征：髓室相对空间大，四面轴相髓壁较薄，根管粗且直，根尖孔较粗大（图 10–33）。

一、髓　　室

下颌第三磨牙的髓室若将近似球形的牙冠仍视为有五面的立方体，那么该牙的髓室仍可看做是六面髓壁围成的空间（图 10–33），髓室顶有向殆面延伸的髓角，髓角与殆面牙尖相对应，但隆起的副牙尖内部通常没有髓角。因此，下颌第三磨牙的髓角通常情况下为 3 ~ 4 个，而且突出的锐利程度常不显著。髓室顶的中部凸向髓室底方向，隆凸的高度远低于相邻的两个磨牙髓顶形态，下颌第三磨牙的髓室顶厚度较薄，开髓揭髓顶的操作很容易暴露髓腔。

由于下颌第三磨牙外形变异较多，其髓室及根管也同样依其外形而异（图 10–33，图 10–34）。初萌的下颌第三磨牙四面轴相髓壁较薄，随着年龄的增大，继发性牙本质的不断沉积才使髓壁逐渐增厚，因此，下颌第三磨牙若发生龋坏时很容易侵犯到牙髓腔。

在研究下颌第一、第二磨牙髓室底形态中，人们发现有宽平型、宽凸型、窄凹型和马蹄型四种髓室底形态。但在下颌第三磨牙宽平型和宽凸型的髓室底少见，最常见的是窄凹型髓室底，其次是马蹄型髓室底。在窄凹型髓室底上，通常有 2 ~ 3 个根管口，统计显示，在髓室底上以两个根管口（近、远中各一个）占多数，在人群中约占 64.4%；其次为三根管口，约占 25.7%；还可以出现 C 型根管口，约占 8.8%。除了上述四种类型的髓室底形态外，偶尔也可遇到其他形态的髓室底，如漏斗状的髓室底，底壁上常有 1 ~ 3 个根管口。



图 10–33　下颌第三磨牙髓腔纵切面观
（A）近远中向切面　（B）近中颊舌向切面
（C）远中颊舌向切面

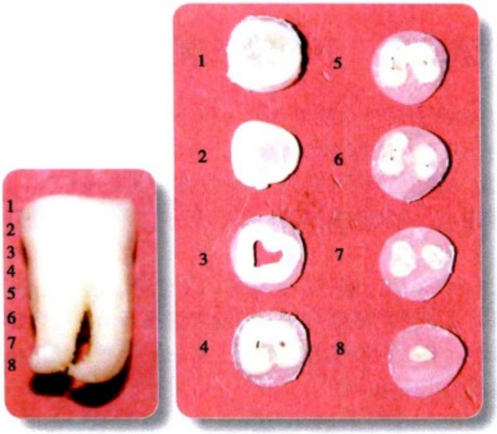
下颌第三磨牙根管口一般较粗大，但由于对下颌第三磨牙的髓腔的研究开展较晚，现还很少见到对根管口的测量值。与其他牙齿一样，根管口也有增龄性变化，随着个体的年龄增长，根管口径也会相应减小。

二、根 管 系 统

下颌第三磨牙的根管类型，远比牙根外形复杂。通常情况下，下颌第三磨牙的牙根外形只分为融合和分叉两种类型；而贯穿行走在牙根内的主根管形态就更为复杂。

根据现有研究资料显示，使用 Vertucci 的分类方法，远不能全面反映下颌第三磨牙的根管类型和形态结构。基于上述原因，各家在报道上也从自身的实用出发，在某些形态上细致区分，而有些内容则粗

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A） （B）

图 10-34 下颌第三磨牙连续水平切片

（A）下颌第三磨牙颊面观 （B）下颌第三磨牙横切面观

略带过，由于侧重不同，所以他们的最大差异还是各类型的标准和比例关系不相同。在应用参考中，还有待进一步完善。表 10-9 是国内资料从不同角度对下颌第三磨牙的主根管型的统计结果。

表 10-9 下颌第三磨牙根管类型及比例分布（%）

	根管类型	Ⅰ型 1-1 型	Ⅱ型 2-1 型	Ⅲ型 1-2-1 型	Ⅳ型 2-2 型	Ⅴ型 1-2 型	Ⅵ型 2-1-2 型	Ⅷ型 3-3 型	C 型	其他型
资料①	融合根	49	16.2	3	0	0	0	7	18.8	6
	近中根	57.1	18.8	3.2	14.9	3.9	0.7	0.7	0	0.7
	远中根	66.5	11.6	0.9	7.5	11.9	0	0.9	0	0.7
资料②	融合根	20.4	32.3	5.3	36.5	0	0	2.9	0	2.6
	双根	87.1	1.6	3.4	5.4	2.5	0	0	0	0
	三根	81.8	2.2	0	0	16	0	0	0	0
资料③	融合根	13.6	16.7	0	1.5	41.0	0	12.1	0	15.1
	分叉根	14.1	11.8	0	41.3	0	0	11.8	0	21.0

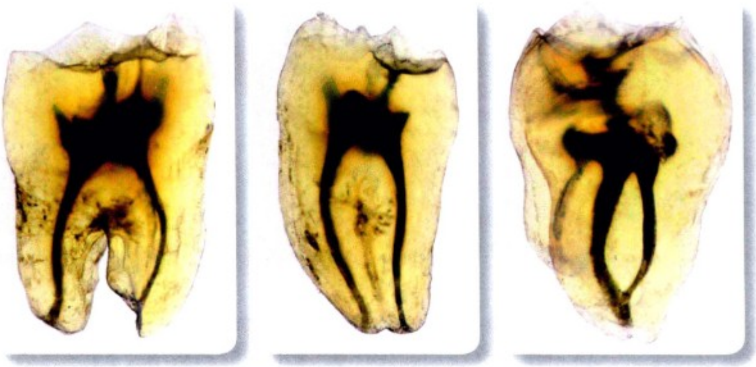
从表 10-9 可以看出，对于下颌第三磨牙的根管划分类型虽然基本原则相同，但在遇到一些新类型时，记载方法选用数字组合式分类，这让阅读者一目了然，对很快建立空间形态有所帮助，同时从表中也反映出第三磨牙主根管的复杂性。在以往的报道中，有人还记录到其他一些类型的根管形态，如 3-1 型、3-2 型、3-4 型和 2-3 型，虽然在样本中出现比例甚少，但已经归为一类形态出现，它们就具有共性，而非变异。由于对该牙的根管研究还处于资料集存阶段，所以随着研究不断深入，很可能还有一些新类型会被发现，而且各种类型的构成比例也会发生改变。

无论新类型怎样增加或变动，我们还是可从表 10-9 中得出结论，在下颌第三磨牙的主根管形态中，仍是以 1-1 型、2-2 型和 2-1 型三种根管形态为主（图 10-35）。

锥形融合根内的根管形态，是下颌第三磨牙较为独特的一种结构形态。在结构上，锥形融合根与单

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

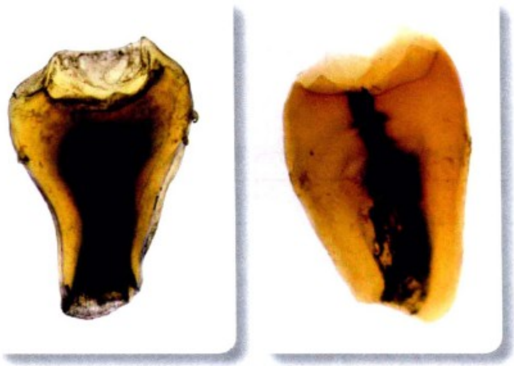
根形态相似，但在体积上明显粗于单根，因而内部就有充分的空间构筑根管，所形成的根管是多形态的，如漏斗状的锥形根管、C 型根管等（图 10-36）。



（A）　　（B）　　（C）

图 10-35　下颌第三磨牙根及根管常见类型

（A）1-1 型　（B）2-2 型　（C）2-1 型



（A）　　（B）

图 10-36　下颌第三磨牙的根管类型

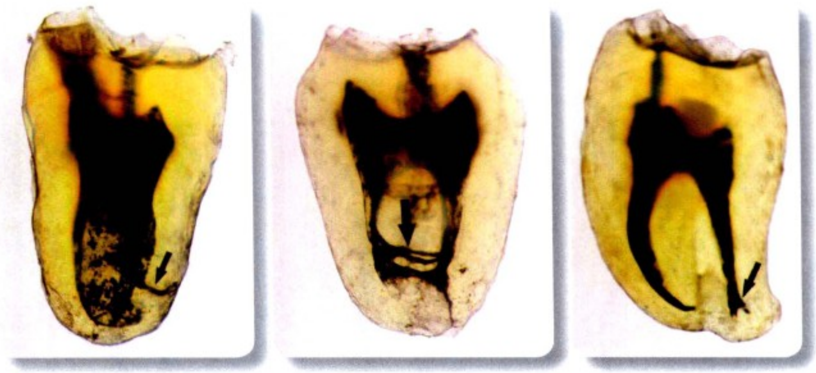
（A）锥形根管　（B）C 型根管

下颌第三磨牙根管形态复杂性产生的原因可能是上皮根鞘在形成根管时，由于牙根外置空间不够而受挤压，导致其内的根管发育受影响。在锥形空间内可以是粗大的单根管，也可以是双管或多管形态。当下颌第三磨牙是单管形态时，髓室底的根管口呈漏斗状，此时难以确定髓室底的具体位置。同样的原理，当下颌第三磨牙为 C 型根管时，髓室底向根管口方向凹陷，呈一新月形的裂隙。

多根管的下颌第三磨牙，由于髓室底的面积较狭小，根管口之间的距离较短，操作者对距离变化的手感不明显，在根管预备中若不仔细分辨，治疗器械就可能反复进入同一根管，造成遗漏根管，以致影响治疗效果。

侧副管在下颌第三磨牙的根管系统中也是十分常见的，包括根管侧支、根尖分叉、管间吻合（图 10-37）等多种形态。统计显示下颌第三磨牙侧副管的发生率高达约 81.5%，任何类型的侧副管形态都有可能发生，并且近中根内出现侧副管的几率要远大于远中根。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　（B）　（C）

图 10-37　下颌第三磨牙的侧副管形态

（A）根管侧支　（B）管间吻合（单一吻合）（C）根尖分叉

在侧副管中，根管侧支的发生几率最高。在该牙不同牙根段或不同根类型中，根管侧支的发生率也不尽相同。现有资料显示，分叉型下颌第三磨牙的根管侧支发生率约为 14.1%，融合根型中根管侧支发生率约为 12.1%。进一步研究显示该牙近中牙根根管侧支发生率约为 18.2%，而远中根略低，只有约 12.9%，结果表明近中牙根比远中牙根更容易发生根管侧支。融合型牙根出现根管侧支的几率，要远远高于分叉型的近中牙根。表 10-10 归纳总结了多篇研究根管侧支形态的统计结果，以供大家在实际应用中参考。

表 10-10　下颌第三磨牙不同根型的根管侧支发生率（%）

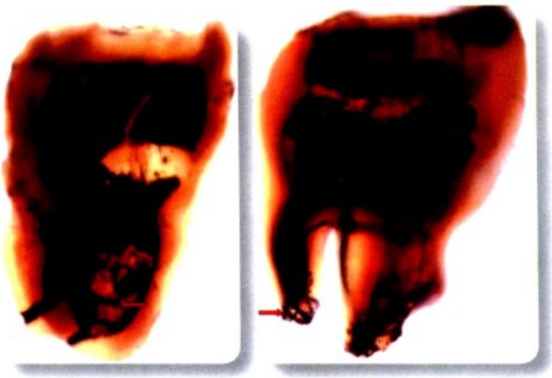
	根管类型	发生率
资料①	融合根	12.1
	分叉根	14.1
	近中根	27.3
资料②	远中根	22.7
	融合根	46.7
资料③	双根	31.2
	三根	18.1
	近中根	18.2
资料④	远中根	12.9
	融合根	36.9

根管侧支的发生，是由于 Hertwig 上皮根鞘围绕血管生长形成，因而在根管的全程中均可发生。统计显示，下颌第三磨牙出现在根颈 1/3 段的根管侧支约有 7.1%，出现在根中 1/3 段的约有 14.2%，出现在根尖 1/3 段的根管侧支约有 78.5%。从这些数据可以看出，从牙根颈段到根尖方向，下颌第三磨牙形成侧支的比例是逐渐增加的，即根管侧支常见部位是根尖 1/3 段。如果按根管类型和根段进行统计，结果是否会发生改变，事实表明仍是以根尖 1/3 段的根管分出侧支最为常见，但也并非其他根管段没有侧支发出，只是比例偏低。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

管间吻合或称管间交通，在下颌第三磨牙的根管系统中也很常见，但它与牙根的外形有着显著的联系。一项统计显示，在融合型牙根内，存在管间吻合的可高达约 51.3%，而在分叉型的下颌第三磨牙，存在管间吻合只约占 15.9%。其原因可能与根形态的发育过程有关，融合根内各根管在生长发育过程中，由于彼此距离较近，而根鞘上皮断裂被血管生长透入形成交通吻合，并且血管丰富的程度往往还影响形态，丰富的血管丛形成网状吻合 [图 10–38（A）]。然而另一部分研究资料显示，只在融合型牙根内发现了管间吻合（3.6%），而在分叉型牙根内未见到管间吻合形态。若在分叉型根内出现管间吻合，远中根内出现的几率低于近中根（远中牙根 2.0%，近中根 7.5%）。管间吻合在牙根内最常见的部位与下颌第一、第二磨牙间存在很大不同，目前发现在下颌第三磨牙根尖 1/3 处出现管间吻合最常见。

在下颌第三磨牙侧副管形态中，根尖分歧较根尖分叉常见。统计显示，根尖分歧的发生率约为 12.9% ~ 18.4%，根尖分叉的发生率约为 9.1% ~ 12.3%。这其中融合型牙根出现根尖分叉和根尖分歧的几率最高，分叉型牙根出现根尖分歧和根尖分叉又以近中根高于远中根。



（A）　　（B）

图 10–38　下颌第三磨牙根管系统

（A）网状吻合　（B）根尖 delta

在根尖的这些细小分支形态中，还有一类形态称根尖 delta[图 10–38（B）]，这一特殊形态在根管预备中远比根尖分歧和根尖分叉困难。研究显示，下颌第三磨牙的根尖 delta 并不罕见，在不同的牙根外形中出现几率稍有差异，融合型牙根的根尖 delta 约为 4.5%，叉型牙根约为 1.2%，很显然融合型牙根的根尖部更容易发生根尖 delta 形态。

在下颌第一磨牙和第二磨牙的根管系统中，副根管发生率很少。研究发现，融合型牙根中约 2% 会出现副根管，但在分叉型下颌第三磨牙未见到副根管形态。副根管的出现，提醒人们在融合型牙根的下颌第三磨牙临床操作中，除了根管侧支、管间吻合、根尖 delta 外，还应注意有无副根管的存在。

三、根尖孔与侧副孔

根尖孔外形仍以圆形、椭圆形为主要结构形态（图 10–39），其他形态也存在，只是所占比例较低。对于下颌第三磨牙根尖孔径的测量及记载现存资料很少，这其中有多种原因，一方面以往认为该牙的功能处在退化的边缘，没有像其他功能牙那样开展研究；其二，该牙萌出晚或者早期就被拔除了，根尖孔尚未发育完成（图 10–40），测量统计误差大；不过研究资料中，对根尖孔数目的描述则较详细。下颌第三磨牙根尖往往不止一个根尖孔，统计表明根尖平均有 1.4 个根尖孔存在。人们似乎很难理解根尖孔怎么会有小数，这是因为在根尖开口的主根管孔其单孔比例不足一半所致，而双孔出现的比例占到 33.3%，其次还有三孔者，故平均计算时便出现小数点。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A） （B） （C）

图 10-39 下颌第三磨牙根尖孔的形态与位置

（A）a. 圆形，位于根尖顶点；b. 椭圆形，位于侧面 （B）a. 椭圆形，位于侧面；b. 圆形，位于侧面 （C）a. 椭圆形，位于侧面；b. 圆形，位于根尖顶点



图 10-40 下颌第三磨牙发育中的根尖孔

除了主孔之外，还有侧副管的开口，下颌第三磨牙的侧副孔出现的几率平均约为 23%，因此，在下颌第三磨牙的根管治疗操作中，除了要封闭根尖孔外，还应封闭侧副管的开口，以保证治疗的彻底性。表 10-11、表 10-12 是下颌第三磨牙根尖孔和侧副孔的分布关系统计，供实际应用中参考。

表 10-11 下颌第三磨牙根尖孔的出现率与根型之间的关系（%）

主孔在根尖出现的数目		在融合根型出现的几率	在分叉根型出现的几率	
			近中根	远中根
根尖孔	0 眼	15.2	2.5	4.9
	1 眼	40.9	65.4	93.8
	2 眼	33.3	25.9	1.2
	3 眼	10.6	6.2	0

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

表 10-12　下颌第三磨牙侧副孔的发生率与根型之间的关系（%）

侧副孔在根尖出现的数目		在融合根型出现的几率	在分叉根型出现的几率	
			近中根	远中根
侧副孔	1 眼	24.2	6.2	7.4
	2 眼	9.1	1.2	0
	3 眼	1.5	0	0
	4 眼	1.5	1.2	0

表 10-11、表 10-12 可以看出如下规律，在下颌第三磨牙的根尖可以无主孔，虽然结论如此，但侧孔的出现几率远比主孔出现的几率低。

（陈作良　杜昌连）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

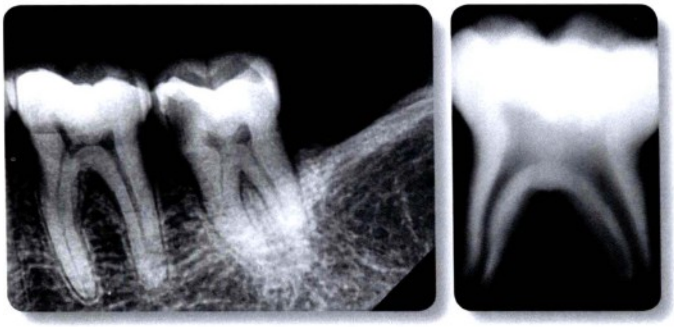
第十一章

乳牙髓腔形态

乳牙髓腔解剖是儿童牙体牙髓和牙周疾病治疗的基础。以往由于乳牙样本收集困难，故系统研究乳牙髓腔形态的资料远不及恒牙髓腔资料详细，而且对乳牙的牙髓病治疗，没有恒牙那样受到重视，这是因为乳牙在体内保留时间短暂，不像恒牙那样终生伴随个体执行咀嚼和言语等重要功能，这也是人们没有进行详细研究乳牙髓腔形态的原因之一。

随着人们生活水平的日益提高，牙体保留对个体生活质量影响的认识加深，在临床牙病治疗中已经将乳牙疾病的治疗与恒牙并重对待。因此，有必要总结已有的乳牙髓腔形态资料，以供大家在应用中参考。

乳牙髓腔的传统经典描述是它们相对恒牙髓腔表现为腔大、壁薄、髓角高耸，而且根尖孔粗大，此形态特点在 X 线片显示很直观（图 11–1）。虽然随年龄增长髓腔容积逐渐减小，但毕竟乳牙存留的时间短暂，总容积的变化不甚显著，没有恒牙髓腔变化那样明显，这也是乳牙髓腔特点之一。



（A）　　（B）

图 11–1　乳牙和恒牙髓腔形态的 X 线影像

（A）恒磨牙　（B）乳磨牙

第一节　上颌乳前牙髓腔形态

乳前牙分为上下两组，包括上颌乳切牙、乳尖牙和下颌乳切牙、乳尖牙共 12 个牙位。它们的共同特征是无髓室底，根管在颈线下方延续髓室，根管至根尖 1/3 处才逐渐变窄（图 11–2），所以乳前牙开髓后，器械很容易伸入根管内，甚至可以通过根尖孔直抵髓腔外。乳牙的根尖孔相对恒牙粗大，当牙根生长发育的早期根尖孔逐渐成形缩小；待牙根发育成熟后，深面的恒牙胚在咀嚼的刺激下向上生长，导致乳牙根逐渐吸收，此时根尖孔又逐渐增大，这在乳磨牙尤为明显（图 11–3），若在操作中未控制好工作长度，很容易导致深面恒牙胚的损伤。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

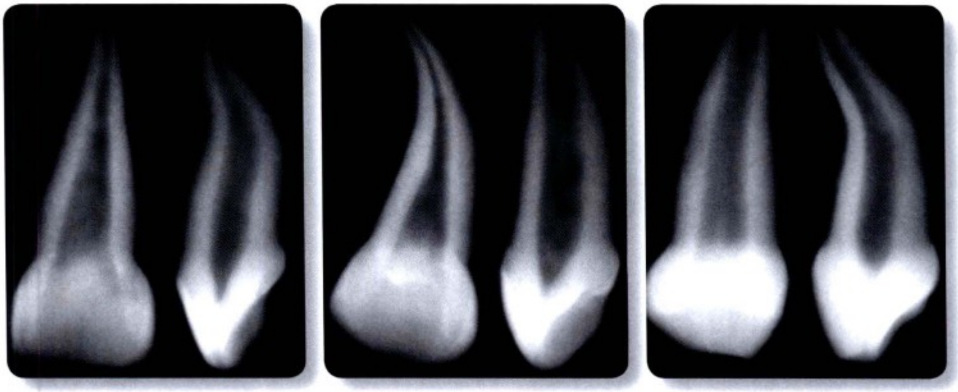


图 11-2　上颌乳前牙髓腔正面、侧面 X 线影像

（A）乳中切牙　（B）乳侧切牙　（C）乳尖牙

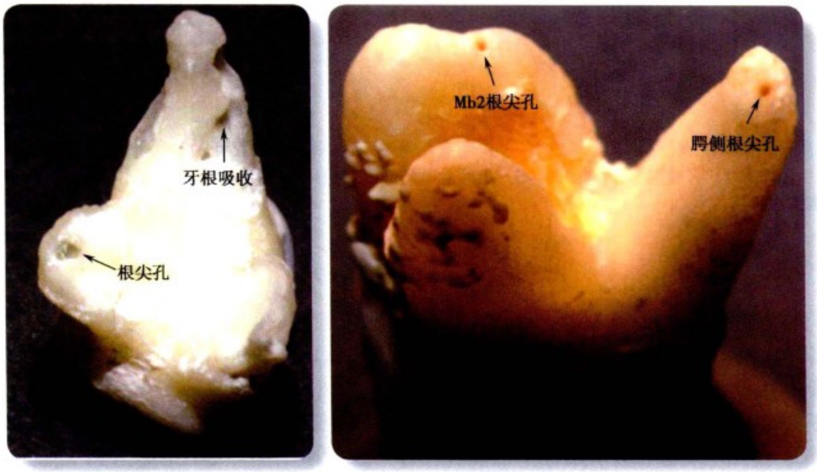


图 11-3　乳牙、恒牙根尖孔的比较

一、髓　　室

上颌乳前牙共有 6 个牙位，若从中线开始，按镜像原理有 3 个各自不同的髓腔形态。上颌乳中切牙的髓室由髓室顶与四面轴相髓壁围成，唇舌侧的髓壁较宽阔（图 11-4）；近远中壁较窄而直；舌侧髓室壁中部有隆起，使得髓室呈勺状；髓室顶在牙冠的体表投影位于牙冠的切 1/3 处，近远中髓壁也直达牙冠的近远中 1/3 边缘，髓室顶与近远中髓壁的交汇转折处呈直角；髓室底缺失，髓室与根管直接相延续。

上颌乳侧切牙的髓室容积较乳中切牙的髓室小（图 11-5），四面轴相髓壁围成的髓室水平切面上，近远中径大于唇舌径；髓室顶唇舌向狭窄，近中髓角呈直角与近中切角相对应。由于髓室顶与远中髓壁交汇处呈弧形延续，故远中髓角呈圆弧状；无髓室底，髓室与根管直接相延续。

上颌乳尖牙的髓室空间较为特殊，四面轴相髓壁围成的髓室水平切面呈圆三角形（图 11-6），唇舌

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

径与近远中径几乎相等；髓室顶向牙冠方向隆起形成的髓角偏向牙尖的远中方向，髓角的最凸点伸入牙尖内近切端 1/3 处，髓室与根管直接相延续。

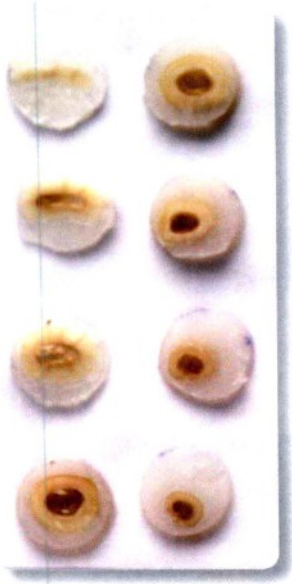


图 11-4　上颌乳中切牙髓腔连续水平切片



图 11-5　上颌乳侧切牙髓腔连续水平切片



图 11-6　上颌乳尖牙髓腔连续水平切片

二、根管系统

上颌乳前牙的根管均较单一粗大，目前研究的上颌乳前牙的髓腔形态，还未见有双根管形态的报道。由于各牙均无髓室底而直接延续根管，所以它们的根管口均呈漏斗状（图 11-7），使髓室与根管之间呈一连续无明确界限的通道。

在牙根中部的横切面上，单一根管的管腔近远中径通常大于唇舌径（图 11-4 ~ 图 11-6），这一点与恒牙切牙和尖牙横切面有所不同。上颌乳前牙的根管系统中，是否有根管侧支、根尖分歧或根



（A）　（B）　（C）

图 11-7　上颌乳前牙的根管形态

（A）乳中切牙　（B）乳侧切牙　（C）乳尖牙

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

尖分叉等形态，目前还未见这方面的报道。因为乳牙的根尖 1/3 存在的时间较短暂，即使存在根尖分叉或根尖分歧，也在牙齿的发育过程中被吸收，但在作者收集的标本中却观察到 1 例侧孔（图 11–8）。上颌乳前牙有无管间吻合，目前缺乏相关资料，现有资料均显示上颌乳前牙为粗大的单根管（图 11–7）。测量髓室底部和根管中部的水平截面积，均表明上颌乳前牙的根管呈渐缓缩窄的锥状空间（表 11–1）。

表 11–1　上颌乳前牙髓腔水平切面的测量平均值（mm）

牙位	髓室底部（颈线处）		根管中部（牙根 1/2 处）	
	唇–舌径	近–远中径	唇–舌径	近–远中径
I	1.85	2.68	1.65	2.47
II	1.81	2.12	1.53	1.65
III	2.53	2.73	2.23	2.36

三、根尖孔与侧孔

上颌乳前牙根尖孔的外形多为卵圆形或圆形（图 11–8），开口位置并非全都位于根尖顶点，在能观测到根尖孔的样本中，只有极少样本的根尖孔位于根尖顶点，这可能与乳牙牙根下方存在恒牙胚有关，因为当乳牙发育成形后，随之而来的是恒牙胚在牙槽内不断发育成熟，并向对殆方向不断移动，若血管束垂直于乳牙根尖下方，就不可避免地受到生长发育中恒牙胚的挤压。

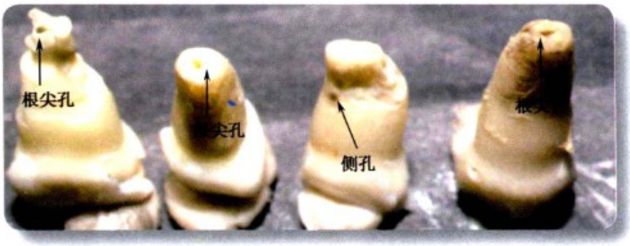


图 11–8　上颌乳前牙根尖孔的形态与位置

乳牙根尖孔的直径在多数情况下较同等牙位恒牙根尖孔的直径大，这可能与乳牙的生理结构有关。由于乳牙在根尖孔发育中定形的时间短暂，当根尖孔刚发育成熟后，继而是深面恒牙胚的发育和萌出，导致乳牙根的吸收，这可能是根尖孔较粗大的直接原因。在以往的研究中少有测量值报道，样本稀缺是主要原因之一，而采集到的乳牙又多源于治疗性拔牙，其数量有限，所以目前还很少有定量描述根尖孔直径的资料。

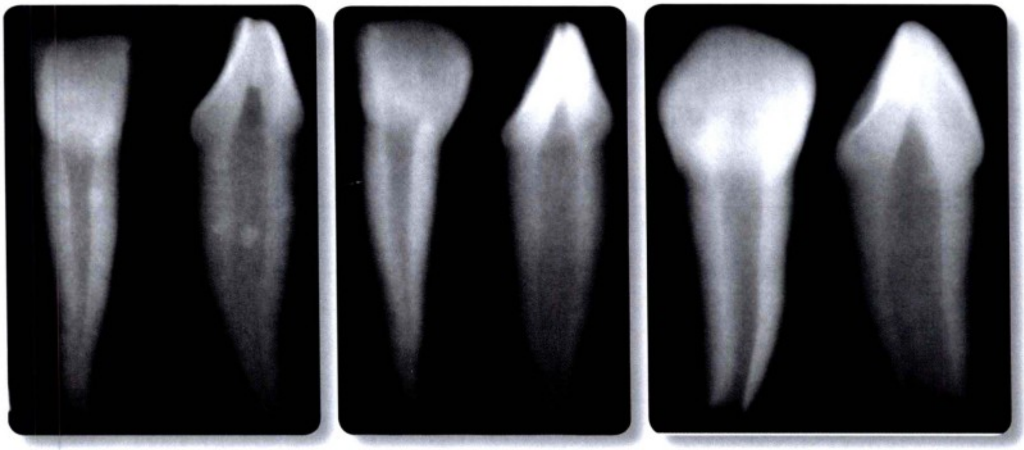
第二节　下颌乳前牙髓腔形态

下颌乳前牙也有三种髓腔形态特征，与上颌乳前牙不同的是，下颌乳前牙的髓腔容积均较上颌同名牙的髓腔容积小，它们的相似之处是髓室与根管间无髓室底分界（图 11–9）。

一、髓　　室

下颌乳中切牙的髓室容积是所有乳前牙中最小者。在牙体的近远中切面上，该牙髓室靠近顶部较宽，向根方延续逐渐变窄；在唇舌向切面上，髓室呈缝隙状，从牙冠的切 1/3 延伸至牙根内，靠近颈线

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　（B）　（C）

图 11–9　下颌乳前牙髓腔正面、侧面 X 线影像

（A）乳中切牙　（B）乳侧切牙　（C）乳尖牙

处髓室宽大。四面轴相髓壁围成的髓室切面唇舌径略大于近远中径（图 11–10）。

下颌乳侧切牙的髓室形态与下颌乳中切牙的髓室形态差异不显著。在唇舌向切面上显示髓室顶部狭窄，至牙冠颈部髓室较宽，髓室向根方延续为根管时又逐渐变窄（图 11–11）；在牙体近远中切面上，髓室在切嵴深面向左右展开，形成与牙体外形相似的锐三角状投影（图 11–9）。与上颌乳切牙髓室不同的是下颌乳切牙的髓室唇舌径大于近远中径（表 11–2）。

下颌乳尖牙的髓室在水平切面上呈圆三角形（图 11–12），舌侧髓壁窄于唇侧髓壁。髓室顶中部有



图 11–10　下颌乳中切牙髓腔连续水平切片　　图 11–11　下颌乳侧切牙髓腔连续水平切片　　图 11–12　下颌乳尖牙髓腔连续水平切片

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

隆起的髓角，与牙冠表面的牙尖相对应，髓角的最高处达牙尖的1/2内，髓室的轴壁与根管壁相延续（图11–13）。

二、根管系统

上颌乳前牙几乎全为单根管结构，但下颌乳前牙除了单根管外，也可见单双混合根管或双根管存在，此结果与日本学者统计略有不同，他们认为下颌乳前牙也只有单管型。在下颌乳前牙中，单双混合型根管多见于乳中切牙（图11–14）。



图11–13　下颌乳尖牙髓腔形态



（A）　（B）　（C）

图11–14　下颌乳切牙髓腔形态

（A）和（B）单双混合根管　（C）单根管

在牙根的横切面上，下颌乳中切牙和乳侧切牙的根管多呈圆形或椭圆形（图11–10，图11–11），而下颌乳尖牙多呈圆三角形（图11–12）。在下颌乳前牙的根管系统结构中，很少有资料报道根管侧支、根尖分歧和根尖分叉等侧副管的出现，并且在不同的牙位其牙髓腔的唇舌径及近远中径的径相值各不相同（表11–2）。

表11–2　下颌乳前牙髓腔水平切面的测量平均值（mm）

牙位	髓室底部（颈线处）		根管中部（牙根1/2处）	
	唇–舌径	近–远中径	唇–舌径	近–远中径
$\overline{\text{I}}$	1.43	1.03	1.13	0.86
$\overline{\text{II}}$	1.63	1.41	1.35	1.04
$\overline{\text{III}}$	2.11	2.16	1.96	1.70

三、根尖孔与侧孔

与上颌乳前牙相似，下颌乳前牙的根尖孔在外形上多为圆形或卵圆形（图11–15）。其位置可出现在根尖顶点，也可偏向根尖段四个轴面的任意一侧；观察显示，下颌乳前牙的根尖孔位于根尖段舌侧的比例最高。下颌乳前牙的侧孔，在抽样调查中较少发现。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

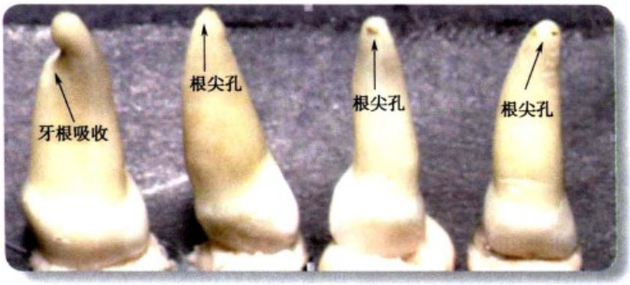
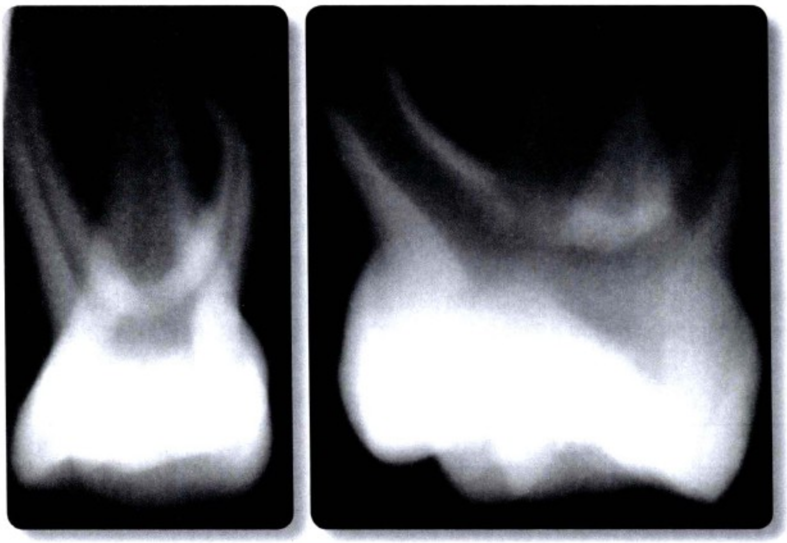


图 11-15　下颌乳前牙根尖孔的形态与位置

第三节　上颌乳磨牙髓腔形态

上颌乳磨牙的髓腔形态包括上颌第一乳磨牙髓腔形态和上颌第二乳磨牙髓腔形态，它们的共同点是髓室呈立方形，由六个面组成；髓室底上的根管口与根管延续，通常有 3～4 条根管，各牙根内多为 1 条根管，有时近颊根内有 2 条根管。上颌乳磨牙髓腔的另一解剖特点是髓室容积较大，围成髓室的四面轴相髓壁较薄（图 11-16）。



（A）　　（B）

图 11-16　上颌乳磨牙髓腔形态的 X 线影像

（A）第一乳磨牙　（B）第二乳磨牙

一、髓　　室

1. 上颌第一乳磨牙髓室　上颌第一乳磨牙的髓室有六面髓壁，髓室水平切面呈颊舌径大于近远中径（图 11-17），而髓室顶 - 底的高度又小于髓室的近远中径。测量显示髓室颊舌径平均约 4.29mm、近远中

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

径平均约 2.77mm、髓室顶－底的高度平均约 1.7mm。髓室顶上有 4 个髓角，近中颊尖和近中舌尖内的髓角最突出，而远中颊尖和远中舌尖内的髓角则较低矮（图 11-18）。

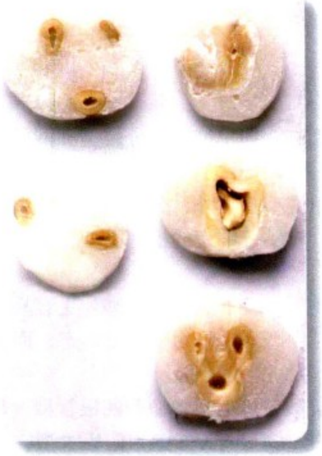


图 11-17　上颌第一乳磨牙髓腔连续水平切片



图 11-18　上颌第一乳磨牙髓腔形态

上颌第一乳磨牙的髓室底在颈线以上，髓室底至根分叉的平均距离约为 1.1mm。在开髓过程中，由于髓室的高度较低（1.7mm），使得穿透髓顶进入髓室的落空感不明显，此时很容易继续向深部磨钻，造成意外穿通髓室底。在髓室底上，通常可以见到 3 个根管口，在个案报道中，也有 4 个根管口，但 90% 以上的个体只有 3 个根管口，分别连通牙根内的根管。近中颊根管口呈颊舌径 > 近远中径的扁圆形，测量显示上颌第一乳磨牙近颊根管口的近远中径平均约为 0.52mm，而颊舌径平均约为 1.40mm。上颌第一乳磨牙的远颊根管口也呈颊舌径 > 近远中径的扁圆形，不过整个口径较近颊根管口小，测量远颊根管口的近远中径平均约为 0.44mm，而颊舌径则平均约为 1.20mm。在 3 个根管口中，以腭侧的根管口较为粗大，其外形依然呈颊舌径 > 近远中径的扁圆形，测量显示腭根管口的颊舌径平均约为 1.43mm、近远中径平均约为 0.73mm。

2. 上颌第二乳磨牙髓室　上颌第二乳磨牙的髓室容积较上颌第一乳磨牙髓室容积大，四面轴相髓壁围成的髓室截面呈斜方形，颊舌径 > 近远中径，并且近中髓壁较为宽凸（图 11-19），测量显示髓室的颊舌径平均约为 4.8mm，近远中径平均约为 3.2mm。髓室顶的中央凸向髓室，使得在三维空间内，以髓室顶－底高度最小，平均约为 1.2mm。在髓室顶上有伸向 4 个牙尖方向的髓角，其中近中颊侧髓角最突出，远中颊侧髓角和近中舌侧髓角次之，远中舌侧髓角最矮。髓角的锐度随着年龄增长，由于继发性牙本质沉积而逐渐变平。有人测量髓室顶硬组织的厚度平均约为 1.5mm。虽然牙齿殆面的磨耗使髓室顶上硬组织的厚度有所变薄，但随着继发性牙本质的沉积，又使其厚度处于相对恒定，这点在动态测量中得到证实（乳牙殆期间髓顶厚 $\bar{x}$=1.5mm，混合牙列殆测量是 $\bar{x}$=1.5mm）。

在儿童成长的过程中，髓室的形态变化较为明显，除了乳牙髓角变平外，髓室的容积也是整体缩小的。有学者测量髓室在整个牙冠体积中的比值变化时发现，乳磨牙早期髓室占牙冠体积的（96.0 ± 0.5）%，直至混合牙列殆时髓室占牙冠体积的（81.0 ± 0.6）%（$P < 0.01$）。



图 11-19　上颌第二乳磨牙髓腔连续水平切片

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

上颌第二乳磨牙的髓室底平均厚约 1.2mm，髓室底上的近颊和远颊根管口外形通常均为扁圆形，腭侧根管口近似椭圆形；以腭侧根管口口径最大，近颊根管口次之，远颊根管口最小。测量显示上颌第二乳磨牙的近颊根管口颊舌径平均约为 2.2mm，近远中径平均约为 0.5mm；而远颊根管口的颊舌径平均约为 1.5mm，近远中径约为 1.0mm。由于上颌第二乳磨牙的髓室宽大，髓室底上的根管口明显，因此，打开髓腔后在髓室底的边缘很容易找到根管口。

二、根 管 系 统

在乳牙的根管系统中，多数学者认为可以分为三种形态，即单纯型、分歧型和网状型。单纯型主要见于乳前牙，由于根管在牙体内走行单一，所以在治疗中操作相对简单快捷，这些在乳前牙中已做讨论。而乳磨牙的根管形态，则较乳前牙复杂多变，除了单纯型少见外，分歧型和网状型多见于乳磨牙的根管，特别是网状型，这在乳前牙是较罕见的形态结构；有关分歧型的根管类型在下颌乳前牙虽然也有存在，但出现几率也不超过 4.6%。

有关上颌乳磨牙根管形态的规律，通常上颌第二乳磨牙要较上颌第一乳磨牙更容易掌握。多数资料描述上颌乳磨牙有 3 条根管，进一步研究显示，上颌第二乳磨牙几乎为三根管形态，而上颌第一乳磨牙则只有 90% 为三根管，另 10% 的个体可能是四根管或更多（图 11-20）。

1. 上颌第一乳磨牙根管系统　上颌第一乳磨牙的根管数目有三根管型和四根管型，来源不同资料其结果稍显差别。有人认为上颌第一乳磨牙 90.9% 为三根管型，另有 9% 则为四根管型，三根管型以腭侧根管最为粗大，而颊侧两根管（近颊、远颊）的管径相差甚小，并且三根管的根管口均位于髓室底的边缘；上颌第一乳磨牙若出现四根管，主要是在髓腔底的颊侧出现了 3 个根管口通向 3 条根管，而腭侧仍为 1 条根管。第四根管可以在近颊根内，也可以在远颊根内，随机性较大，而且与同一根内的另一根管通常相距约 0.5mm。

Lownan 等用真空染色和 X 线研究上颌第一乳磨牙的侧副管，结果显示发生率高达 55%，但同样使用该方法研究侧副管的 Ctatmanm 则认为此比例过高，他认为上颌第一乳磨牙侧副管的发生率只有约 28.4%，其间有无地域差异尚待进一步研究。

2. 上颌第二乳磨牙根管系统　现有资料显示，上颌第二乳磨牙的根管类型以三根管多见。但三管的走行各学者对其描述存在差异。完全独立行走的三根管，即 3 条根管起于髓室底根管口，独立行走直达根尖孔，其间未发生根管融合或者分叉等形态改变，这是三根管的主要结构形式（图 11-21）。但有统计



图 11-20　上颌第一乳磨牙髓腔形态（四根管）

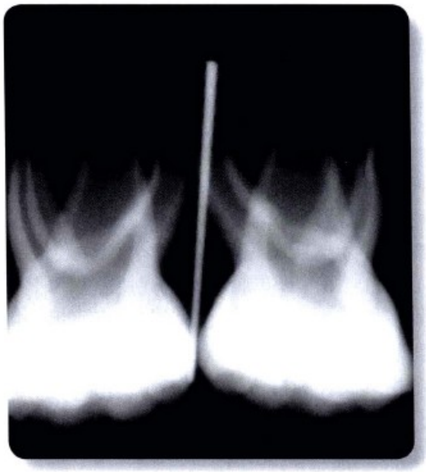


图 11-21　上颌第二乳磨牙 X 线影像显示三根管

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

资料认为三根管类型中，有些根管起始是 3 个根管口，但在行进过程中根管发生了融合，在根管终止处又分别开口不同的根尖孔，有人把此类形态也归结为三管形态，不过该根管形态多见于上颌第二乳磨牙的牙根外形有变异者。有人报道上颌第二乳磨牙根管在穿行中发生根管融合高达 12%，这似乎与选择样本有关。在实际情况中，几乎为独立的三根管形态，而根管融合极少。3 个根管口通向牙根内的 3 条根管，三根管口与髓腔底边缘贴近，腭侧的根管口径最粗，远颊根管口径最小。

有关上颌第二乳磨牙侧副管的发生率，Lownan 的研究结论是大约超过半数的上颌第二乳磨牙存在侧副管，但部分学者研究结果显示，上颌第二乳磨牙的侧副管发生率在实际人群中低于此结论。

三、根尖孔与侧副孔

上颌乳磨牙根尖孔的形态多为圆形或椭圆形（图 11-22），并且比恒磨牙的根尖孔直径稍大一些。

除了主根尖孔外，开口于根尖段的还有侧副孔。通常侧副孔孔径都较主孔小，Koenigs 研究认为侧副管的直径平均约为 40～250μm，因而侧副孔的直径通常也较狭窄。众多学者认为乳磨牙侧副孔较同等牙位恒牙的侧副孔发生率高，对根管的分型和根管形态研究做过重大贡献的学者（Vertucci，Anthong）认为含单双混合型根管形态的上颌第一乳磨牙侧副孔发生率高达约 36%，而上颌第二乳磨牙的侧副孔发生率只有约 12%。侧副孔的出现为牙髓炎的扩散提供了通道，这是儿童牙髓炎引起口腔周围蜂窝织炎的解剖特点。因此，在根管预备的同时适当的使用抗生素治疗是值得考虑的。

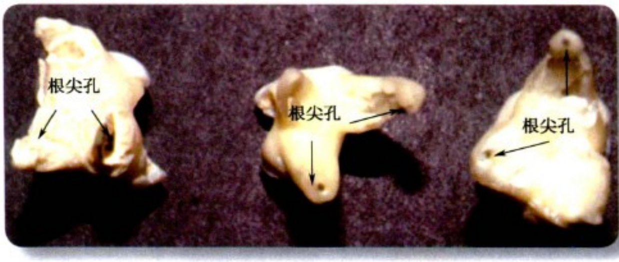


图 11-22　上颌乳磨牙根尖孔的形态与位置

第四节　下颌乳磨牙髓腔形态

下颌乳磨牙的髓腔形态与上颌乳磨牙的髓腔形态存在较大差异，其相同点甚少，如果非要列举它们的共同特征，那就是两者的髓室均表现为腔大、壁薄的特点（图 11-23）。下颌乳磨牙髓腔形态与同等牙位的恒牙髓腔形态比较时，它们之间的差异也是显著的，髓角高耸、根管粗大这些髓腔特征是恒牙髓腔外形所不具备的。下颌乳磨牙的根管数目有三管型、四管型甚至五管型，并且五管型在人群中统计高达 20%，这在下颌恒牙的根管形态中则相对较低。

一、髓　　室

下颌乳磨牙的髓室在空间构形上呈近远中径大于颊舌径，颊舌径大于髓室顶－底的高度。髓室顶上有伸向𬌗面的髓角，舌侧髓角较颊侧髓角尖锐。在髓室底上有 4～5 个根管口，分别通向近中根内和远中根内的根管；四面轴相髓壁围成的髓室切面呈近远中径大于颊舌径（图 11-24）。

1. 下颌第一乳磨牙髓室　下颌第一乳磨牙髓室的横切面颊舌径平均约为 2.7mm，髓室的近远中径平均约为 4.1mm，即髓室横切面呈近远中径 > 颊舌径的长方形［图 11-24（A）］。在髓室顶有突起锐利的髓角，分别对着𬌗面的 4 个牙尖（图 11-25），髓室顶的中部稍凸向髓室，经测量髓室顶－底的距离平均

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

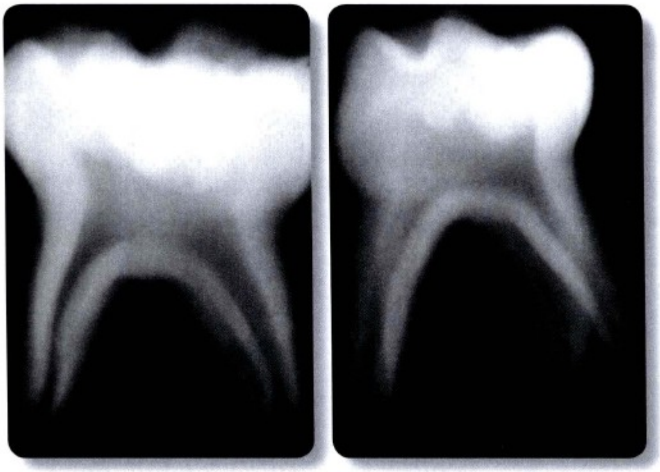


图 11-23　下颌乳磨牙髓腔形态的 X 线影像



（A）　　（B）

图 11-24　下颌乳磨牙髓腔连续水平切片

（A）第一乳磨牙　（B）第二乳磨牙

约为 1.8mm。由于髓室顶－底之间的距离较小，因此，下颌乳磨牙揭开髓室顶后，很容易因缺乏落空感而继续向深面磨钻，导致髓室底穿通，尤其是初次临床实践者更应注意。

下颌第一乳磨牙的髓室底上 4 个根管口常见，3 个根管口较少见，统计显示在样本中三口型约占 14.3%。4 个根管口的排列关系为近中两口和远中两口。髓室底近中的 2 个根管口，其外形是近中颊侧的根管口要粗于近中舌侧的根管口。在髓室底的远中也为 2 个根管口，据统计约 66.7% 的个体这两口通常是一大一小，以远中颊侧的根管口粗大而远中舌侧根管口细小，导致治疗中远舌根管易被遗漏。在髓室底远中的根管口还可出现另一种形态特征，即两口先合并成扁形漏斗状，在窝底再分为颊舌两根管口，这时两根管的直径无明显差异，此结构形态的在样本中约占 33%。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

下颌第一乳磨牙髓室底若为三根管口型，根管口的排列可以是近中两口，即呈近颊和近舌向排列，在髓室底部的远中边缘只有一口；也可以排列成髓室底远颊一口和远舌一口，而近中边缘的髓室底部只有 1 个根管口。这两种结构形式在人群的发生率较为接近，前者约为 8.2%，后者约为 6.1%。因为髓室底出现三根管口较四根管口的几率低，所以揭开髓室顶后，首先应寻觅是否为四根管口分布，特别要注意远中舌侧根管口。

位于髓室底的根管口，多呈颊舌径宽，近远中径小的扁圆形，而且几乎均偏向髓室底的边缘区。在髓室底测量四根管口的间距显示：近中两根管口颊－舌向间距平均约为 2.2mm，两根管口至近中髓壁的间距平均约为 0.8mm；远中两根管口的间距平均约为 2.2mm，两根管口至远中髓壁的间距平均约为 0.7mm。可以看出在髓室底近中和远中的两根管口间距几乎等于髓室底的宽度（2.7mm）。

为了比较近中与远中根管口截面积的大小，有人还计算了下颌第一乳磨牙近中根管口和远中根管口的截面积，计算结果反映根管口与髓室底间的相对值。经计算近中根的根管口在髓室底下方 0.5mm 处的截面积平均约为 1.1mm^2，而在髓室底下方 1.0mm 处的截面积平均约为 0.8mm^2；远中根的根管口在髓室底下方 0.5mm 处的截面积平均约为 1.4 mm^2，而在髓室底下方 1.0mm 处根管口截面积平均约为 1.0mm^2。此结论可表示两重意义：①远中根管的总截面积较近中根管的总截面积大，表明远中根内的血管为牙髓的主要血供来源；②根管口从上方至根管内走行为一漏斗状，即口的上端面积大，下端面积小，一旦炎症充血极易导致回流受阻，从而产生压迫性疼痛。

下颌第一乳磨牙髓室底的厚度，系指髓室底内面至根分叉的垂直距离，此距离表示该处髓腔底的硬组织厚度。经测量其平均厚度约为 1.10mm，这表明此处硬组织厚度是有限的，在开髓过程中很容易穿通髓室底。该处的硬组织厚度还受年龄影响，年龄越小此处的硬组织厚度越薄。据有关学者分年龄段测量髓室底的厚度显示：3～4 岁组髓室底的平均厚度约为 0.9mm；5～6 岁组髓室底的平均厚度约为 1.1mm，当儿童成长到 7～8 岁组段时，髓室底的平均厚度约为 1.3mm。

2. 下颌第二乳磨牙髓室　下颌第二乳磨牙的髓室容积较下颌第一乳磨牙的髓室稍大［图 11-24（A）和（B）］，髓室由六面髓壁组成，其中髓室顶较第一乳磨牙髓室顶宽阔，髓室顶有 5 个髓角分别对应𬌗面的 5 个牙尖，髓室顶的中部凸向髓室（图 11-25）。四面轴相髓壁围成的髓室切面呈近远中径大于颊舌径，抽样统计显示，该牙髓室的近远中径平均约为 5.1mm，颊舌径平均约为 3.3mm，也反映出下颌第二乳磨牙髓室呈近－远中宽阔的箱状空间。

下颌第二乳磨牙的髓室高度（顶底之间的垂直距离），要比下颌第一乳磨牙的髓室高度低，平均约为 1.3mm。这表明下颌第二乳磨牙在开髓过程中，更容易误伤髓室底，同时还因为下颌第二乳磨牙的位置偏后使术者视野受限，在儿童就诊时若配合欠佳，那么出现差错的可能性就越大。


图 11-25　下颌第二乳磨牙的髓腔形态

下颌第二乳磨牙髓室底的厚度与下颌第一乳磨牙髓室底的厚度差异不显著，平均约为 1.0mm。在实际测量中，年龄的差异与该处硬组织的厚度存在关联。低年龄组的儿童该处硬组织厚度较薄，而较大年龄组的儿童此处的硬组织相对较厚，表明低龄儿童若龋坏穿髓形成牙周扩散，继发炎性感染的风险将大为增加，这也可能是儿童龋坏导致心肌炎和肾炎发生的潜在因素。分组测量下颌第二乳磨牙髓室底厚度资料显示：3～4 岁组儿童髓室底平均厚度约为 0.8mm；5～6 岁组儿童髓室底平均厚度约为 1.0mm，此结果已清楚地表明随年龄增加髓室底硬组织变化的过程。另有研究显示，在髓室底的组织结构中常有许多牙本质小管连通牙髓腔与牙周区，这使得牙髓炎很容易向牙周扩散，从而引起牙周感染，这是应该引起足够重视的解剖特点；并且还有研究资料记录，此处的副根管也较常见，这就加大了感染蔓延的风险。

下颌第二乳磨牙髓室底常存在 4～5 个根管口。统计观测表明，以四根管口最为常见，在人群中约

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

占 73.3%，另有 26.7% 的个体的髓室底有 5 个根管口，目前资料记录还未见多于此数目根管口的下颌第二乳磨牙。

4 个根管口在髓室底排列的形式为：近中颊侧和近中舌侧一对根管口，远中颊侧和远中舌侧一对根管口，4 个根管口的位置分布均靠近髓室底的边缘区。肉眼观察 4 个根管口的直径彼此间大小无明显差异。

若髓室底有 5 个根管口时，则分布形式为髓室底近中边缘有 2 个根管口，即近中颊根管口和近中舌根管口，而远中边缘则有 3 个根管口，在远中颊根管口与远中舌根管口之间有一细小的根管口，该根管口直径明显小于其他 4 个根管口。

另一种髓室底根管口分布形式是近中两口（近颊口，近舌口）常融合，远中 2 个根管口也合并为 1 个大根管口，那么在髓室底上呈现的是近中和远中分别有一个颊舌向粗大的漏斗状口，然而在根方深面可能是 2 条根管，也可能是 1 条扁的单根管。

下颌第二乳磨牙的髓室底有 4 个独立的根管口时，测量显示近中颊舌两根管口的平均距离约为 3.2mm，两根管口与近中髓壁的平均距离约为 0.9mm；远中颊舌两根管口的平均距离约为 3.0mm，两根管口与远中髓壁的平均距离约为 0.90mm。从测量值可以看出位于髓室底的 4 个根管口分别紧邻近中和远中两髓壁边缘，因而在揭开髓室顶后，探查器械可沿髓壁伸入就近寻觅到根管口进入根管内。

下颌第二乳磨牙的根管口平均截面积比下颌第一乳磨牙的根管口平均截面积大，也可以认为该牙进入髓室的血流较第一乳磨牙充足，因为根管口的截面积越大，表示通行根管内的血管口径越粗大，血流量越充足。测量下颌第二乳磨牙根管口截面积的具体值是：在该牙的髓室底向根方内伸 0.5mm，测得的近中根管的截面积平均约为 1.6mm^2，远中根管的截面积平均约为 1.2mm^2；在离髓室底 1mm 的根方测量得近中根管截面积平均约为 2.6mm^2，远中根管的截面积平均约为 2.0mm^2。

二、根管系统

在下颌乳磨牙的根管形态中，从三根管型至五根管型均可存在，不同的牙位出现有差异。来源中东地区的居民资料（4～6 岁儿童）显示，下颌第一乳磨牙的三根管约占 79.2%，四根管约占 20.8%，下颌第二乳磨牙多数为四根管。与上颌乳磨牙不同的是，在下颌乳磨牙可见到副根管的出现，而且也出现其他侧副管类型。因此，在根管治疗中，下颌乳磨牙的操作复杂程度比上颌乳磨牙更大。

1. 下颌第一乳磨牙根管系统　国人的下颌第一乳磨牙的根管有三根管或四根管。三根管在人群中所占比例的较高，大量资料统计显示，在人群中下颌第一乳磨牙绝大部分为三根管类型。分布形式主要是近中 2 条根管，远中只有 1 条根管，约占 67%；也可以是近中根管只有 1 条，而远中根管 2 条，约占 33%。在日本居民的资料统计中，发现他们的人群中存在有两根管的下颌第一乳磨牙，并且高达 20%，是否乳牙根管存在民族差异，还是一个值得继续探讨的问题。

有人分别用两种不同的方法测量根管的直径后指出，牙体剖面测量根管直径与使用 X 线测量根管直径两者之间的值不等同。通常情况下直接在剖面上测量的值比从 X 线片测得的值小，这可能是投影造成影像放大或可能与 X 线透过牙本质吸收后产生的灰度误差有关，或两者兼有，因而在临床上 X 线透视获得的根管直径应考虑与实际的管径存在一定的误差。

下颌第一乳磨牙的根管系统中，侧副管的出现已较普遍。有人认为约 63% 的牙根可出现根管侧支和根尖分歧。在使用染料着色的样本中，结果约有 28.4% 的下颌第一乳磨牙存在根尖分叉或根尖分歧。由于对乳牙的根管系统研究资料正处于收集中，人们对根管形态的关注度也刚从恒牙的根管研究中逐渐转向乳牙，但乳牙的样本太有限，是否在乳磨牙中存在管间吻合、根管峡等结构，目前还缺少这方面的证据。

2. 下颌第二乳磨牙根管系统　多数资料显示，下颌第二乳磨牙的根管形态是乳牙根管形态中最为复杂的。下颌第二乳磨牙的根管数目从三管至五管均有出现，各占比例也不尽相同，但目前中外资料均未发现两根管的下颌第二乳磨牙，表明外形为双根的下颌第二乳磨牙，在一牙根内多数为 2 条或 2 条以

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

上根管穿行（图 11–26）。已有资料显示下颌第二乳磨牙根管统计结果四根管约占 73.3%，五管型约占 26.7%；但也有人对上述结果持不同意见，认为只划分四根管或五根管太过武断，他们统计的结果是四根管约占 25%、五根管约占 25%，另 50% 是三根管。

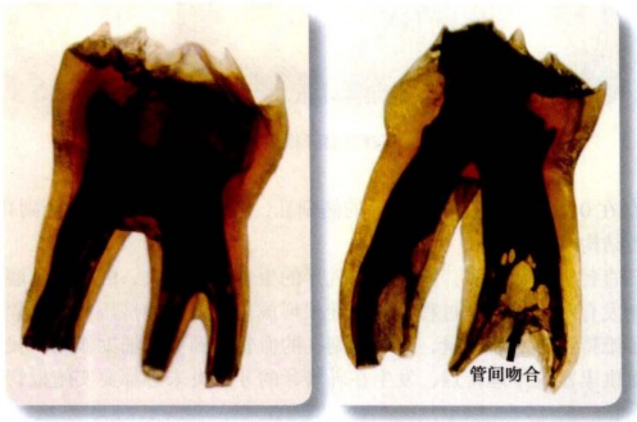


图 11–26　下颌第二乳磨牙的根管形态

下颌第二乳磨牙五根管多为远中根内有 3 条根管，通常在远中舌和远中颊两个粗大根管之间，还有一条细小的根管；也有人报道第五根管位于近中颊与远中颊两管间，但该管的走行是否仍穿行在远中根内，这与该细管邻近的根管间距有关，若细小的第五根管靠近远中颊侧走行则在远中根内；若更靠近中颊，则可能走行在近中根内；若从两根分叉处穿出则计入副根管，因为下颌第二乳磨牙的副根管最为常见，这是中外学者共同得出的结论。

下颌第二乳磨牙的四根管分布形式是近中根内和远中根内分别各有一对根管穿行，并且每一牙根内并行的两条根管管径相近。只有三根管穿行有些特殊，其中双根管可以发生在近中根内，也可以发生在远中根内；此时三条根管的管径各异，根内若为单管，其管径要明显粗于根内为双管的任一根管管径，另两条根管虽然穿行在同一牙根，但它们的管径可能并不相等。

有资料显示三根管穿行在根实质内常存在管间吻合，而两根管存在管间吻合较少，但仍能在下颌第二乳磨牙两根管间见到管间吻合（图 11–26）。

下颌乳磨牙的侧副管形态复杂，以根管侧支多见。在国内早在 20 世纪 90 年代就有人关注下颌第二乳磨牙的侧副管结构概况，他们不但注意到该牙的根管侧支多变，还对根尖的根尖分歧或根尖分叉进行了研究。研究结果虽然与国外 57% 的发生率存在差异，但仍有约 30% 的样本在根管末端出现根尖分歧。副根管的发生率较下颌恒磨牙高出许多，Paris 用电镜记录下颌第二乳磨牙副根管的发生率为 20%，日本学者还将副根管进一步分成六个亚型，这些都表明下颌第二乳磨牙的根管系统是最为复杂的结构。

三、根尖孔与侧副孔

下颌乳磨牙的根尖孔以圆形或卵圆形最为常见，位置也不全位于根尖顶点，常偏向根尖段四个轴面的任意一侧（图 11–27）。根尖孔数目与主根管的数目相匹配。最难确定的是侧副孔的数目和形态，因为乳磨牙的侧副孔较恒磨牙的侧副孔出现几率高，抽样调查显示两者间存在 25% 的差异，并且乳磨牙的侧副孔口径通常较大。Koening 等的研究结果显示，其孔径通常变化在 40 ~ 250μm。Anthony 认为 32% 的下颌第一乳磨牙有侧副孔存在，而下颌第二乳磨牙出现侧副孔的几率较第一乳磨牙稍低，约为 24%，侧副孔孔径测量结果在 4 ~ 220μm。国人在研究侧副孔时使用品红染料着色下颌乳磨牙根部，发现在下颌乳

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



图 11-27　下颌乳磨牙根尖孔的形态与位置

磨牙的牙根末端可存在 0～20 个口径大小不等的侧副孔，当然这样高数目的侧副孔牙根仅是少数个案，并非所有样本的必备结构。

乳磨牙的侧副孔直径大、数目多，这或许与乳牙的生理过程有关，因为在乳磨牙生长的同时，根深面的恒牙胚也在不断发育和生长，其过程会对乳牙根形成挤压，这种挤压在一定程度上干扰了根尖孔血管的血液供给，为了维持正常的血供量，此时侧副孔的血管起到旁路辅助作用。我们可以利用乳磨牙侧副孔多、口径粗，血供丰富的生理特点，发生在乳磨牙的牙髓炎未必都要实施根管封闭，至少部分患者可做冠髓选择性切除。

（杜昌连）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

第十二章

牙髓腔形态与根管治疗

第一节　牙髓腔解剖形态与应用

从前述内容的讨论中，我们已经对牙髓腔形态有了系统了解。在临床实际应用中，牙髓腔的解剖形态对于医师进行牙体、牙髓、根尖周病的治疗以及修复中的牙体预备有很大的指导意义，只有牢牢记住根管的解剖形态，才能很好地选择根管器械、预备方法及充填方法，防止并发症的发生。

1. 根管治疗前，首先应拍X线片，判断龋坏的位置、大小，以及龋坏到髓腔的距离，髓腔的大小，髓腔内是否有髓石，确定和推测根管的形态、长度和数目，牙周膜是否增宽，根尖周有无暗影，是否有根内、根外吸收，与牙体周围解剖结构的关系（如上颌窦、下颌神经管等）。有条件的可以使用显微CT、锥形束CT（CBCT），在活体上显示根管形态，便于下一步的根管治疗。

2. 其次必须设计和制备好窝洞入口，根据牙髓腔的形态和临床治疗的需要，开髓的设计要求有以下方面：

（1）完全揭去髓顶，所有的龋坏组织、残留坏死组织、碎屑和残渣都必须清理干净。如果髓室内残存有钙化或金属颗粒，它们进入根管就会导致根管预备难度增大。即使是软的残渣进入根管，也可能导致根管内细菌增多，导致根尖周感染的几率加大。

（2）入口能和根管连成近似直线的通路，以保证器械无障碍地进出根管，便于去除根管内容物，最后充填根管。

（3）去除悬空的釉质、牙本质，以免咬合受力时折裂。

（4）尽量少切削牙体组织，防止形成薄壁。对于多根牙，要保证开髓后，根管口正好位于窝洞边缘，使根管器械沿洞壁直接滑入根管内。

3. 最后是根管预备方法和充填方法的选择。根管预备的基本技术有逐步后退技术和逐步深入技术。根管充填的方法有侧方加压充填技术、热牙胶垂直加压充填技术、热牙胶连续波充填技术和ThermaFil充填技术等，最近又有了负压法充填技术。

一、上颌前牙髓腔解剖特点与根管预备

1. 上颌前牙的髓腔在牙颈部最大，开髓时从舌面窝入手，先垂直于舌面窝向下，有落空感后（老年人可无落空感，要根据实际情况改变）向牙颈方向和牙体长轴平行钻入。

2. 上颌前牙根管粗大，少有弯曲，即使有弯曲其角度也不大，根管治疗时操作便利、效果极好。

3. 上颌前牙根尖孔较大，一般大于25# K锉的直径，有的甚至达到直径0.55mm以上，特别是年轻的恒牙。因此，根管充填时要防止超充。

4. 上颌尖牙的长度较长，且根尖1/3段根管明显比根管中上段变细，在根管探查过程中，临床上要注意工作长度的确认。

窝洞入口的制备原则为：上前牙的窝洞入口根据髓腔的形态而有所不同。开髓孔不可位于舌隆凸

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

上，以免对根管器械形成过大的阻力，造成根尖区侧穿或形成台阶。事实上为了减少根管器械进入根尖区的阻力，窝洞的入口应向切缘方向扩展，必要时可扩展到切缘甚至唇面。这当然违背了美学的要求，但维护牙齿的健康比牙齿的美观更为重要，况且现代修复技术的发展，又使这一问题得到了妥善的解决。

开髓时，先用裂钻在腭面正中舌侧窝钻入牙体组织，穿髓后，用安全车针平行于牙体长轴向近远中和颈部扩展，形成略带三角的圆形，底向切缘，顶向舌隆突的洞形。再用球钻除去髓顶残余的牙本质和牙髓组织，避免切削过多的唇侧牙本质。尖牙的髓腔入口处外形是唇舌径大于近远中径的椭圆形。对形体较小的上颌侧切牙，要注意避免牙颈部唇面的穿孔。为避免开髓时，特别是髓腔钙化或闭锁的情况下导致台阶或穿孔的发生。Weine 提倡用高速裂钻直接沿着牙长轴方向开髓，而不必先以 90°，当钻入釉质时，根管口应位于三角形入口的顶部，形成进入根管的直线通路。

对于老年患者，窝洞入口设计更为重要。由于根管狭窄，不得不使用细的器械，如果根管通路不畅，器械过度弯曲，就可能折断。老年人的髓室顶狭窄，又位于颈缘下，因此，开髓时应尽量靠近切缘侧，而不是常规的开髓位置，这样就能呈直线进入根管。

二、上颌前磨牙髓腔解剖特点与根管预备

1. 确定根管数目时，可采用偏角投照技术，应用颊侧物体投影规则协助诊断。

2. 双根管者做根管治疗时，应注意寻觅根管口。特别是髓角发育较好的第一前磨牙，切不可将两穿髓孔误认为是两根管口。

对窝洞入口的预备要点是根管治疗必须从殆面开髓，制备窝洞入口时，先将裂钻置于殆面中央沟，边钻入边向颊腭侧方向移动，除去颊腭两尖的部分三角嵴，形成颊腭径较长的椭圆形窝洞。开髓后，需用探针检查根管口的位置，后改用安全车针或球钻除去髓室顶，并做颊舌向的扩展，最后修整洞壁。若上颌前磨牙的牙根明显弯向远中，洞缘可略向近中扩展，以便根管预备器械可更容易接近根尖。

上颌前磨牙在开髓中最常见的问题是髓腔暴露不够，髓腔入口为圆形，这可能导致根管的遗漏。另外，因髓腔殆方较宽，向牙颈部过渡时逐渐变细，所以要小心钻磨，保持牙钻方向与牙长轴平行，防止造成侧壁穿孔或形成台阶，根管口位于颊、腭牙尖的下方，颈缘水平以下。若上颌第二前磨牙为 1–1 型根管时，则窝洞入口的颊腭径可相应减小。

三、上颌磨牙髓腔解剖特点与根管预备

1. 颊侧根管口相距较近，应注意寻觅。近中颊根根管细小弯曲，且常有双根管。做根管治疗时，应注意准确探寻根管口。

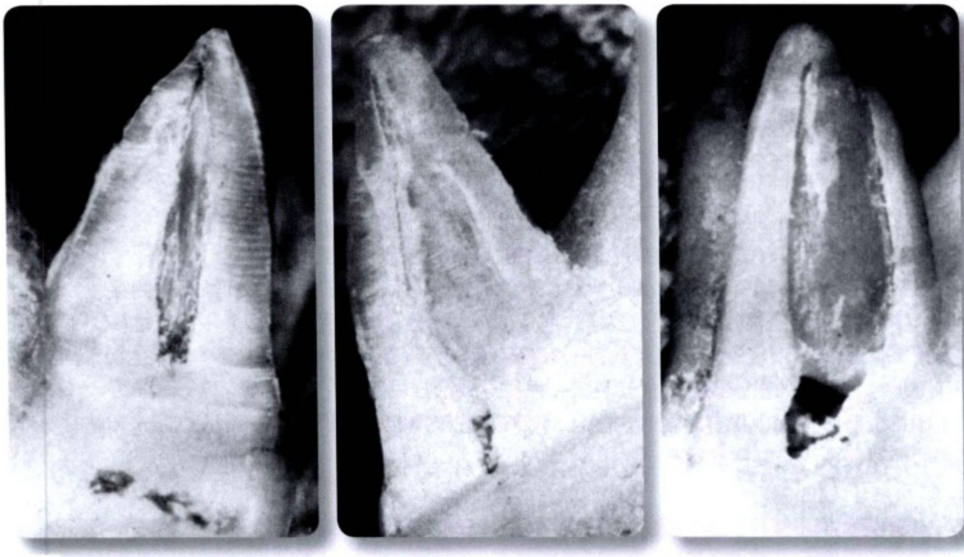
2. 近中颊根多向远中弯曲，操作比较困难，远中颊根多向近中弯曲，两根形状如牛角状。

因此，其窝洞入口预备为三角形，三角形之顶对向近中舌尖，底边位于颊侧边缘嵴近中 1/2 处，不必破坏斜嵴。近颊根管口位于同名牙尖下，远颊根管口位于两颊尖之间的发育沟下，舌根管口位于近舌尖之下，但根管口斜向颊面，故窝洞入口三角形之顶只需扩至近舌尖颊斜面的 1/2 处。为了方便寻找近中颊根第二根管，可将窝洞近中壁 1/3 略向近中扩展，将洞入口制备成斜方形。

进入上颌磨牙髓腔后的常见问题有：①没有对近颊主根管（近颊第一根管）的冠部通路进行正确的扩展和修整，器械不能够直线进入根管；②没有找到近颊的第二根管即 MB2。十多年前中国临床医师的普遍印象是上颌第一磨牙三根管的结构最为常见，自从 Weine（1969）报道有四根管存在以来，随着研究的逐步深入，人们已经逐渐接受高比例存在 MB2 这一事实，并在临床上主动寻找 MB2（图 12–1），否则在上颌磨牙的根管治疗中会遗漏根管而导致治疗失败。

开髓时，先用裂钻在殆面近中窝（也称为中央窝）向近中舌尖穿通髓室，然后改用安全车针或圆钻向颊侧方向揭去髓室顶，一般在近中颊尖下方发现近中颊根根管口后，再向远中略偏腭侧方向移动去除整个髓室顶，最后用钝头的金刚砂车针清理和修整洞壁，按其髓室形态形成三角形或斜方形入口，并与

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　（B）　（C）

图 12-1　16 近中颊根根管常见类型

（A）单根管　（B）双根管，但在根尖合并为一个根尖孔　（C）完全独立两条根管，并分别开口两个根尖孔

各根管形成近直线的通路。

由于腭根管最大和最易找到，因此，应首先寻找腭根管，探查到腭根管有助于发现颊侧根管的位置。近颊第二根管通常不容易找到，其根管口多位于近颊第一根管口与腭根管口连线的近中，可用 DG16 长探针寻找，但常用的方法是用小号长柄车针或超声预备工作尖在近中髓室壁与髓室底交界处探寻和暴露根管口。

对腭根管也需要引起注意。在术前的 X 线片上，腭根通常较直，但实际上腭根经常存在朝向颊侧的明显弯曲。

四、下颌前牙髓腔解剖特点与根管预备

1. 下颌前牙的双根管多分布在唇舌向，在正面的 X 线片上，很难辨别出双根管，因此，可以改变投照方向加以辨别。在根管治疗时，必须想到双根管的可能性，仔细探查根管的数目。

2. 下颌前牙牙根细小，近远中径小，根管壁薄，根管预备时，应防止根管壁侧穿。

因此，下颌前牙的窝洞入口制备基本同上颌前牙。制备窝洞入口时，必须充分估计到根管形态，因髓腔狭小，开髓时选用较小号的裂钻或球钻，开始时裂钻应在舌面接近切缘处，方向与牙体长轴一致，防止出现台阶，穿通髓室后，改用安全车针或小圆钻向切缘与牙颈部并稍向近远中方向扩展，形成唇舌径长、近远中径短的椭圆形。窝洞入口应充分向切缘扩展，尤其是老年人根管较细者，才能显露唇侧根管口和较好地处理根管唇侧壁。

五、下颌前磨牙髓腔解剖特点与根管预备

1. 下颌前磨牙牙冠向舌侧倾斜度大，颊尖位于牙冠中份，颊髓角凸入颊尖，根管长轴通向颊尖，故开髓时，窝洞入口应在𬌗面偏颊尖处，才能保证与各根管形成近直线的通路。

2. 下颌前磨牙颈部缩窄，开髓时常会导致近中颈部台阶的形成或侧穿。

3. 下颌第一前磨牙的根管，其尖端部分细小，常规根管治疗时，器械不易达到，通常以从小号器械

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

到大号器械的原则进行根管预备。

在窝洞入口制备时基本同上颌前磨牙，窝洞入口应在耠面中央偏颊尖处，为颊舌向径长的椭圆形。开髓时，先用裂钻在颊尖三角嵴处开髓，穿通牙髓室后，再用安全车针或小圆钻向颊舌两侧扩展，去除髓室顶与侧壁，切勿磨穿舌壁和近远中壁。

六、下颌磨牙髓腔解剖特点与根管预备

1. 髓室顶与髓室底距离很近，开髓时要防止磨伤或磨穿髓室底。
2. 根管形态变化较大，根管治疗时，要仔细确定根管形态和根管数目。
3. 下颌第一磨牙远中舌侧根管细小弯曲，治疗时要注意，防止遗漏根管和断针、侧穿。
4. 下颌第二磨牙的根管类型较为多样，这是该牙在治疗中与下颌第一磨牙不同点之一，下颌第二磨牙根管形态除了有 C 型根管外，根管数目从双根管至四根管在人群中均可见到（图 12-2），若在治疗中没有仔细地寻找该牙的根管或判别根管类型，往往导致治疗失败。

下颌第二磨牙近远中根有时在颊侧融合，根管也在颊侧相通，根管横断面呈 C 形，开髓时勿将根管在颊侧的连通误认为是髓室底穿孔。

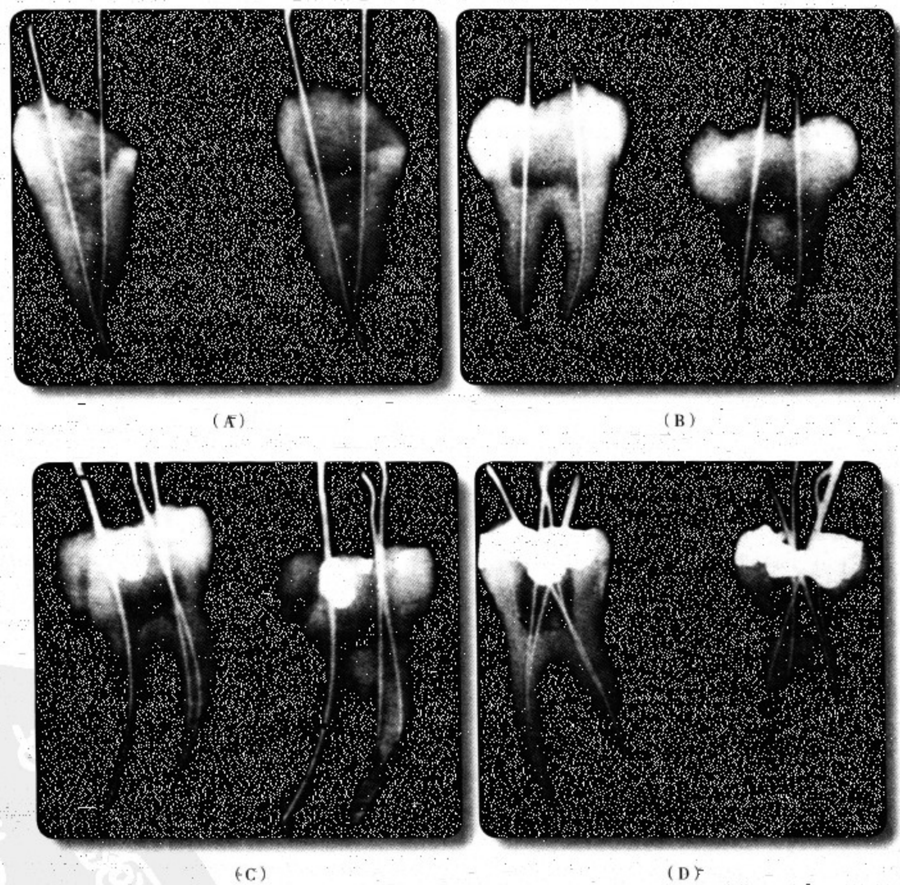


图 12-2　37 的根管形态

（A）C 型根管　（B）双根管　（C）三根管　（D）四根管

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

5. C 型根管的识别　成功治疗 C 型根管的前提是正确识别 C 型根管，即判断 C 型根管是否存在，大致形态如何。仅从临床牙冠的形态很难判断 C 型根管是否存在，X 线技术及开髓后使用显微镜或内镜检查是识别 C 型根管的重要手段。

（1）X 线识别技术：有 C 型根管的下颌第二磨牙牙根在 X 线片上表现为锥形或方形融合根，根中部有一纵向的根分叉影像将牙根分为近、远中两部分，有近、远中两条根管的影像（图 12–3）。少数情况下，由于连接近、远中两条根管的融合区颊舌径过于狭窄，在 X 线片上无法显示，而表现为近、远中分离的两条独立牙根。将诊断锉置于近颊根管内，有时在 X 线片上表现为根分叉处疑似穿孔，这也是 C 型根管 X 线表现的一个重要特征。

（2）髓室底和根管口的形态：当根管口较小时，肉眼难以判断根管口的形态。开髓后可以通过显微镜和根管内镜检查髓室底和根管口的形态，通过改变放大倍数、观察方向及观察深度，可以识别是否存在 C 型根管并观察根管的结构。



（A）　　（B）

图 12–3　C 型根管

（A）37　（B）47

因此，该组磨牙的窝洞入口制备成近似三角形，三角形顶尖位于𬌗面中央窝，三角形底边平行于近中边缘。下颌磨牙近颊根管口直接位于同名牙尖之下，近舌根管口位于牙冠中部颊舌径的中点，远中根管口位于牙冠中部略偏于远中的颊舌径中点。因根尖斜向远中，其根管口朝向近中，故窝洞入口可终止在𬌗面中央。

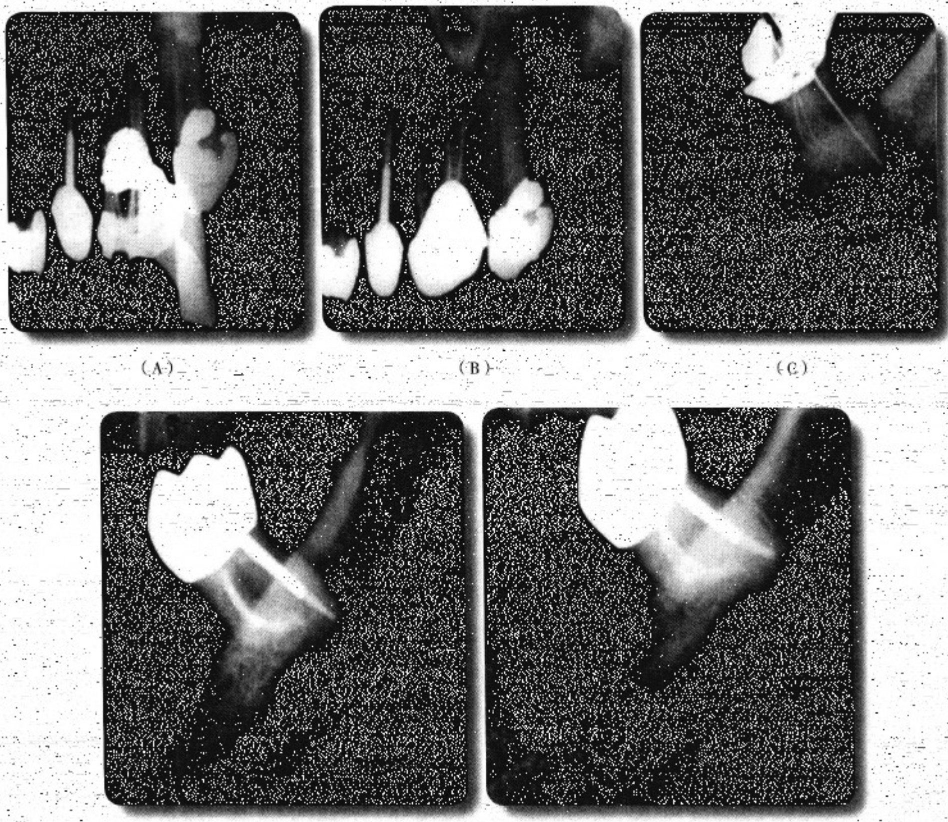
开髓时，先用裂钻在𬌗面中央窝开钻，并向近中窝往复移动直至穿入髓室，再用安全车针或圆球钻揭去髓室顶，先暴露远中的根管口，然后是近中舌根管口和近中颊根管口，最后确定有无远中舌侧根管口。

下颌磨牙牙冠向舌侧倾斜，即牙冠颊面近颈部突出，牙冠舌面近𬌗缘较突出，其髓腔也偏向颊侧，故开髓部位应在𬌗面偏向颊尖处；若在𬌗面中央偏向舌侧开髓时，常导致舌侧壁薄弱而折断或舌侧壁侧穿。

第二节　根 管 预 备

根管预备的方法很多，因为每个牙齿都有独特的根管形态及发育的变化，因此，只有选择合适的方法，在临床工作中才能更快、更好、更方便地解决患者的痛苦，也才能减少并发症的发生（图 12–4）。以下是临床上常用的根管预备方法和根管预备器械的选择，以及根管冲洗方法等。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



(A)　(B)　(C)　(D)　(E)

图 12-4　根管治疗的 X 线影像

(A) 26 治疗中　(B) 术后 6 个月拍 X 线片，由于治疗不彻底根尖区存在暗影　(C) 37 试尖片
(D) 37 根管治疗 6 个月拍 X 线片显示恢复良好　(E) 37 根充 1 年后 X 线影像显示患牙被治愈

一、根管预备的工作长度、宽度和锥度

根管预备主要是通过器械切削和药物冲洗等方法，去除根管内的微生物及其代谢产物、感染的牙髓组织及牙本质碎屑，形成与特定根管充填物和充填方法相适应的形态。根管预备是根管治疗中重要且难度较大的步骤之一，现代根管治疗术的根管预备不仅要求工作长度准确，对工作宽度、根管预备锥度确定也十分重要。

（一）工作长度

工作长度是指根管预备时根管器械进入根管内的最大深度，它的起始位置是牙齿上预先确定的参照点，如前牙的切缘、后牙牙尖或髓腔入口的边缘，终止位置是牙本质牙骨质界。在根管切削器械的杆部套一个橡皮片，将器械插入根管内，橡皮片与参照点接触，尖端到达牙本质牙骨质界，橡皮片与器械尖端之间的距离即为工作长度。

1. 工作长度的生物学基础

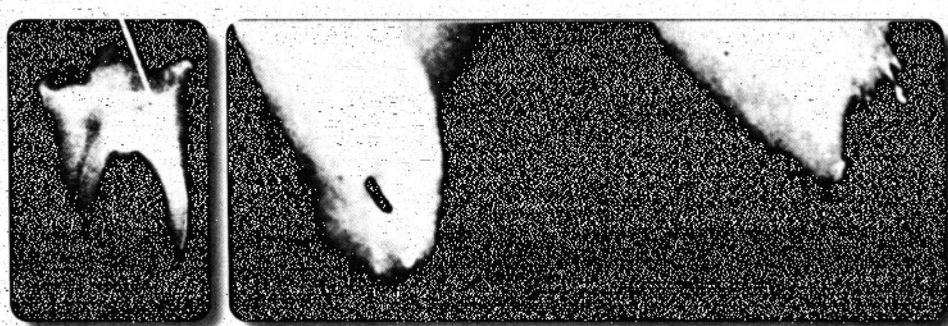
（1）生理性根尖孔的位置：根尖处牙本质牙骨质界构成了生理性根尖孔，其冠方为牙本质管道，根方为牙骨质管道。牙本质管道起于根管口，向根尖方向延伸至牙本质牙骨质界，管壁的内表面为牙本

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

质；牙骨质管道起于牙本质牙骨质界，止于解剖根尖孔（大根尖孔），管壁的内表面为牙骨质。随着年龄的增长，牙骨质管道的长度会轻度增加。牙本质牙骨质界通常位于根管最狭窄处，因此，临床上将根管最狭窄处作为牙本质牙骨质界的标志，也称小根尖孔。传统观点认为，根管最狭窄处仅有1个环状狭窄，实际上根管最狭窄处有4种不同的形状：①传统的1个狭窄；②锥形狭窄，根管最狭窄处靠近根尖；③多个狭窄；④有1个狭窄，狭窄区域较长，管壁相互平行。除上述4个狭窄类型外，还存在另外一型，即第五型，特点为根尖孔完全被牙骨质封闭。

（2）解剖根尖孔的位置：解剖根尖孔的位置有时位于根尖，有时位于牙根的侧方；同一牙根内有多个根管时，其解剖根尖孔的开口可能不在同一水平。当解剖根尖孔位于根侧时，临床上使用X线技术不能准确确定工作长度。此类案例在临床并非鲜见，作者曾利用下颌第一磨牙作为正常开髓根管预备，当根管锉进入近中颊侧根管拍摄X线影像显示为最佳位置［图12-5（A）］，然而当旋转牙体发现此时根管锉的尖端已超出根尖孔1.5mm［图12-5（B）］；如果不是离体实验观察就不能判别此器械已超出根尖孔的范围，临床若按X线影像显示的根管长度充填根管，其结果是超充导致治疗失败。同样的情况在上颌前磨牙也可发生，图12-6是来自1例上颌第二前磨牙的实体观察结果。

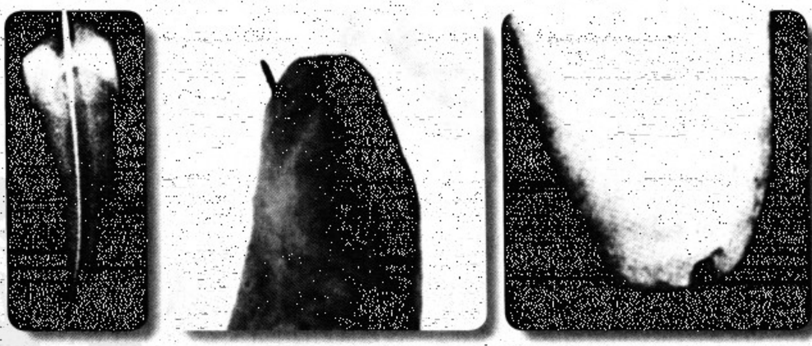
2. 两种工作长度的观念　目前临床上关于根管预备的终止点有两种观点：一种是将根管预备到生理性根尖孔，另一种是将根管预备到解剖根尖孔。



（A）　（B）

图12-5　根尖孔位于根侧

（A）X线显示工作长度准确　（B）实体观根管锉已超出根尖孔



（A）　（B）　（C）

图12-6　根尖孔的位置不在根尖顶点

（A）根管锉在X线上显示与根尖平齐　（B）和（C）牙体实际显示根管锉的尖端已超出根尖孔2mm

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

（1）将根管预备到生理性根尖孔：从组织学角度来讲，牙本质管道内为牙髓组织，而牙骨质管道内为牙周组织。由于牙髓组织在坏死或去除后不能再生，而根尖周组织具有很强的再生能力，因此，生理性根尖孔即牙本质牙骨质界被认为是根管预备最适当的终止点。体外研究结果显示，生理性根尖孔至解剖根尖孔的距离一般为 0.5～1mm。

（2）将根管预备到解剖根尖孔：在根管预备过程中，部分感染牙本质碎屑、细菌、牙髓组织会向根尖方向移动，并在尖部牙本质管道和牙骨质管道内形成栓子，有时会超出根尖孔。研究发现，尖部牙本质管道和牙骨质管道内形成的栓子会影响根尖周组织愈合。因此，Buchanan 和 West 等建议将根管预备成连续的锥形根管，预备的终止点为解剖根尖孔。此外，还有一种根尖疏通技术（apical patency），即在更换切削器械时使用 10# 或 15# 锉，每次插入根管的深度较工作长度长 1mm，目的是清除尖部牙本质管道和牙骨质管道内形成的栓子，使冲洗液能够进入根管的尖部。目前，尚无证据支持将根管预备到解剖根尖孔或使用根尖疏通技术会提高根管治疗的成功率。

3. 工作长度的确定方法　确定工作长度的方法很多，常用的有 X 线法和根管长度电测法。

（1）X 线法：是通过拍摄初尖锉 X 线片来测量根管长度的方法。该方法要求拍摄术前片，患牙有稳定的参照点，初尖锉应细小并与根管壁紧密接触。但使用 X 线技术只能通过根尖位置估计牙本质牙骨质界；当 X 线片上根尖不清晰时，难以确定根管长度，并且其准确性与摄片技术密切相关。

（2）根管长度电测法：是通过测量根管内阻抗的变化规律来确定根尖孔位置或根管长度的一种方法。电测法与 X 线法相比具有简便、快速、准确、可减少 X 线照射等优点，同时也存在一些不足，如需要特殊仪器，准确性会受金属修复体、残髓和牙颈部龋损的影响，并且不适合于佩戴心脏起搏器的患者。目前，根管长度电测法尚不能完全替代 X 线法。

（二）工作宽度

工作宽度特指根管预备终止点的宽度。从生物学角度来讲，恰当的根管预备宽度应该是在尽可能保存牙体组织的前提下，达到根管最佳的清理和成形效果。

1. 工作宽度的生物学基础

（1）根尖孔的大小：体外研究证明，根尖孔的大小常存在增龄性变化，并且与根尖周病变存在与否有关，随年龄的增大根尖孔的直径会减小；当根尖周存在炎症时，常出现炎性吸收破坏，会导致根尖孔的增大。

（2）根尖孔的形态：详见前面相关章节。

2. 三种不同的工作宽度

（1）主尖锉比初尖锉大 3 个号：一般来讲，当牙本质牙骨质界处的根管直径增加 3 个器械号（0.15mm）时，可有效形成根充挡，防止充填材料超出根尖孔。由于不同根管内牙本质牙骨质界处的直径不一定相同，在临床上可以通过探测的方法判断该处的直径，方法如下：将到达工作长度并与根管壁有摩擦感的第一根器械确定为初尖锉（initial apical file，IAF），初尖锉尖部的直径代表牙本质牙骨质界处根管的大小。

（2）按相关标准确定工作宽度：研究发现，初尖锉并不能准确反映根尖孔的直径，而且根尖孔形态的不规则性提示主尖锉比初尖锉大 3 个号时，根尖孔清理效果存在不确定性，也不能将所有根管横断面预备成圆形。因此，许多学者对离体牙根尖孔的大小进行了测量，提出了不同牙根管预备宽度的推荐标准。Kasahara 等推荐上前牙根管预备到 60#；下前牙根管预备到 40#。而 Green 认为，25# 器械可以将细小根管（前磨牙颊根和腭根，磨牙近中根）充分预备，粗大根管（下颌远中根，上颌腭根）则需预备到 45#，甚至需要更大号的器械。

（3）当根尖预备的终止点设定为解剖根尖孔时，维持解剖根尖孔的大小不变。

3. 工作宽度的形成方法　工作宽度的形成主要有两种途径：一种是首先预备根管的尖部，然后预备根管的中上段；另一种是先预备根管的上段，再预备根管的中下段。后者的优点是：根管内的感染微生物主要集中在根管中上部，先清理根管冠部，可以减少感染微生物和牙本质被推出根尖孔的数量，降低

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

根管预备后局部疼痛的发生率。

（三）根管预备锥度

1. 根管预备锥度的生物学基础　了解预备前根管的锥度有助于设计合理的根管预备锥度。由于根管直径自根尖孔到根管口变异较大，目前尚缺少精确的方法来测量预备前的根管锥度。研究发现，根管从根尖孔向冠方移行的过程中，颊舌径的变化常大于近远中径的变化，即根管的颊舌向锥度大于近远中向的锥度，在扁根管中尤为明显。

2. 临床上常见的几种根管预备锥度及其制备方法　根管预备锥度的设计取决于以下两点：是否有利于根管清理；是否有利于根管充填。在根管治疗发展史上，主要有以下几种锥度设计：

（1）锥度为0.02：使用标准预备技术预备后的根管，与最大号器械的形态基本一致。由于这种形状不利于冲洗和充填，临床上已逐渐不再使用。

（2）锥度为0.05～0.10：使用逐步后退预备技术敞开根管时，采用每后退1mm时器械增大1号的方法预备根管。这种形状便于侧方和垂直加压充填，但当根尖预备直径较小时，难以达到较好的根管冲洗效果。

（3）锥度为0.04、0.06、0.08和0.10：镍钛器械往往被设计成不同的锥度，如Profile的锥度为0.04和0.06，GT器械有0.06、0.08、0.10及0.12等四种锥度。选择这些器械可以将根管预备成相应的锥度。

（4）变异锥度：Protaper器械整个刃部的锥度是变化的，不同编号的锥度设计也不同。如修形锉F1、F2、F3，尖端直径分别为0.20、0.25、0.30mm，从D0到D3的锥度分别为0.07、0.08、0.09，从D4到D14刃部的横截面积不断增大，但锥度递减。使用Protaper预备可以得到具有变异锥度的根管。目前，临床上常用的根管冲洗针头为27#，外径为0.4mm。在设计根管形状和预备程序时应优先考虑冲洗针头能够进入根管内的深度，以便被切削的感染物能有效地被冲洗出根管。

（四）确定工作长度、宽度和锥度时应考虑的问题

1. 解剖结构的复杂性　根管系统的解剖结构非常复杂，目前的机械预备和化学冲洗很难将根管系统复杂区域的感染微生物彻底清除干净，寻找有效的根管清理和成形方法成为研究的重点。

2. 根管感染的特点　细菌可侵入整个根管系统甚至根尖周组织，某些微生物如粪肠球菌、血链球菌、衣氏放线菌能够渗透到牙本质小管内。在根尖有炎症的患牙中，约50%患牙的牙本质小管中存在细菌，有些甚至可深及牙骨质层。感染根管内细菌的存在形式并不是散在的悬浮状态，而是聚集在一起，以细菌生物膜的形式附着在根管壁或根尖部牙骨质表面，能抵抗根管冲洗液的冲洗作用，不容易被化学和机械的根管预备方式所去除，可能成为许多慢性持续性感染的根源。

3. 切削部位的不确定性　传统的根管预备理论认为，将根尖孔处根管直径扩大3个ISO器械号（即将直径扩大0.15mm），可在根尖形成根充挡，并可以去除一层感染严重的根管壁牙本质。这个理论的前提是根管尖部横断面为正圆形，但根尖部根管横截面形态多为扁形或不规则形，因此，现有的根管切削器械对根管的清理效果仍不理想。

4. 根管冲洗的难度　根管系统内可能存在根管峡区、分叉或分歧，单靠根管器械不可能清理这些区域，根管的化学冲洗是根管清理中必不可少的重要手段。由于普通冲洗针头（27#）的外径为0.4mm，这就要求根管中上段有足够的直径，以保证冲洗针头能深入到距根尖孔2～3mm处。

二、根管预备的基本要求

1. 根管预备、工作长度、宽度、锥度的确定。

2. 初锉（initial apical file，IAF）　从细小根管锉（08#、10#、15#、20#、25#）开始，能深入达到根尖狭窄处（距X线根尖约1mm），又在根尖狭窄处有紧缩感的锉，称为初锉。

3. 主锉（master apical file，MAF）　根据初锉不同，每个根管预备后达到的主锉不一样，一般比初锉大2～3号，即根尖狭窄区预备后一般要比初锉直径大2～3号。为了便于根管充填，根尖狭窄处应最

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

少扩大至25#。

4. 根管锉预弯 预弯的根管锉是寻找根管原始通道，保持根尖狭窄处位置不变，通过钙化根管和台阶等的有效工具。由于X线只反映二维现象，难以表现根管颊舌向和S形弯曲，预弯的细小根管锉的探查能更好地反映根管的弯曲走行。一般是将根管锉尖端3mm左右弯成钝性的圆滑弧度，采用往返旋转的方式进入和通过弯曲根管。

5. 初始预备后封药的最小根管预备直径 每次根管处理时，如果进行根管预备，至少要预备到25#，才能有足够的空间，利于用拔髓针和根管荡洗以彻底去除根管内容物，然后进行封药。

6. 根管预备后应达到的要求 预备后的根管应具有连续的锥度，根管冠2/3锥度足够，应大于主牙胶的锥度和相应侧压器的锥度，与主锉相应的侧压器应能自如地到达距根尖1～2mm处；根管壁光滑无台阶；根尖区数毫米内无碎屑沉积；保持根管原始的解剖形态；根尖孔位置不变；根尖狭窄区明显，并有明显的停顿。

三、根管预备的方法

（一）逐步后退法（step-back technique）

Weine等最早采用逐步后退法。国内外口腔科学校均将逐步后退法作为标准的方法教授学生。逐步后退法一般分为以下四步：

1. 根尖区预备 首先要探查和确定根尖狭窄处。采用细小的不锈钢锉（08#、10#、15#），0.02锥度，预弯后往返旋转2～3次，然后提出，清洁后重复往返旋转，直到预弯的锉插到工作长度。假设初锉为10#，根尖预备顺序为10#→15#→10#→20#→15#→25#→20#，主锉预备到25#。根管锉预弯、使用润滑剂、足够的冲洗及前一号根管锉的再进入是保持根管通畅的重要因素。

2. 逐步后退预备 当根尖区预备完成后，每增大一号锉，插入根管的长度减少1mm。主锉小于60#，一般做4mm的后退预备；主锉大于60#，则后退扩大2#。逐步后退时，每次都要用主锉插入到工作长度，维持根管通畅。

3. 根管冠部2/3的预备 采用GG钻（1#～6#）做冠部2/3的预备，常用GG钻2#、3#、4#。GG钻2#（相当于70# K锉）应达到工作长度的2/3，或根管弯曲的上部；GG钻3#（相当于90#）比GG钻2#短2～3mm；GG钻4#（相当于110#）只用于根管口部分的成形。

4. 根管壁的再修整 用预弯的主锉达到工作长度，上下提拉（push & pull），锉平根管壁上的台阶，使根管壁光滑，并保持根尖区的形态。完成后可用相应的侧压器检查根管预备后的锥度情况。

逐步后退法是最常用的根管预备方法，安全有效，优点很多。但有以下缺点：锉易被卡住；整个锉的切割面均工作，较费力；根尖区易有大量的碎屑堆积，造成根尖部堵塞，或将碎屑推出根尖孔；预备后可能造成根管变直，形成台阶或丧失工作长度。

（二）逐步深入法（step-down technique）

1. 冠部预备 用裂钻打开髓腔，形成无阻力进入根管口的直线通道。充分冲洗后用08#、10#锉探查根管，用H或K锉15#、20#、25#，预备根管到16～18mm，或遇到阻力处，或弯曲部以上。然后用GG钻预备。一般来说，GG1#进入根管16～17mm；GG2#进入根管14～16mm，GG3#进入根管11～13mm，逐渐后退2～3mm；GG4#进入根管口下2～3mm；GG5#、GG6#仅做根管口以上部分预备，便于髓腔与根管口形成直线通道。GG钻进入根管的深度取决于根管的解剖形态和弯曲度；临床医师应根据临床表现、术前X线片及根管探查情况决定根管的预备方法。

2. 工作长度的测定，根尖区预备和根管壁再修整的方法与逐步后退法相同。逐步深入法在锉进入根尖1/3之前，已去除大部分的牙髓、细菌和碎屑等；能获得良好的进入根尖1/3的直线通道；避免冠部2/3的牙本质的阻力，减少根尖部碎屑的堆积，冲洗器和冲洗液能进入更深；减少工作长度的丧失。但也存在一些问题：不注意或过度预备会造成台阶，或牙根中部的穿孔；细小或闭锁根管应先做初始预备才能用逐步深入法；术前X线片要仔细研究，以防过度预备或根管壁侧穿。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

（三）冠向下预备法（crown-down technique）

冠向下预备法根据外科清创原理，先进行根管冠部的完善预备和清洁，逐步进入根尖区，根尖孔周围的预备和清洁最后进行。

1. 根管冠2/3首先预备的优点 ①易获得根尖区细微解剖和根尖狭窄区的手感反馈；②利于荡洗液进入根管的深部，冲洗更完善；③便于去除牙本质碎屑；④根尖区预备前已去除大部分根管内容物，降低了术后的并发症；⑤便于根管长度的准确测定；⑥有助于预弯的根管锉进入根尖区，减少根尖区堵塞、台阶形成和穿孔的发生。根管冠2/3可采用机械或手工预备方法，但多采用机械预备方法。然而，不注意会造成台阶、根管堵塞、细小的原始根管丧失及器械折断等。

2. GG钻预备法 应用GG钻预备根管冠2/3是有效和快速的方法，被多数临床医师所采用。粗大较直的根管GG钻能一次完成根管冠2/3的预备；而复杂的根管系统可能需要多次重复应用GG钻。

3. 旋转机用镍钛器械法 旋转机用镍钛器械是预备根管冠2/3的良好器械，术者可采用Profile 0.04或0.06锥度的根管口成形钻（orifice shaper）、GT旋转锉、Protaper旋转锉，也可将各种器械结合应用。

4. 根尖区预备的要点 根尖区是根管弯曲和分叉的最多发部位，而且管径较细小，因此，根尖区是多数医源性问题（如根尖孔偏移、根尖区侧穿等）发生的部位。根尖区预备的要点：①探查根尖区：用尖端预弯的细小不锈钢锉探查，获得根尖区的细微解剖信息，如根尖区的直径和弯曲方向等；②保持根尖孔的通畅；③准确测定工作长度；④保持根尖狭窄处的位置不变和适宜的直径，形成连续的锥度；⑤对于复杂根管，如过度弯曲、多重弯曲、融合或分叉，最好采用手用器械预备，或先用手用器械预备形成良好通道后，再用机用器械进一步预备成形。

（四）平衡力法

当根管出现明显弯曲时，逐步后退法根尖部预备的最大号码较小，仅为25#～30#。研究表明根管至少应扩大到40#才能完全去净感染物质，达到清理根管的效果。显然，逐步后退法对弯曲根管的清理效果不理想，并且根管预备的太小，也不利于根管的冲洗。为了增加根尖部的预备直径，同时减少回复力对根管壁的不良影响，如根尖部的歧坡等。1985年，Roane提出弯曲根管扩大的平衡力法，也称Roane技术，使用该法预备明显弯曲的根管，当根尖部预备到45#时，根管的解剖走向可维持不变。

1. 平衡力法的原理 平衡力法是利用物理学中作用力和反作用力基本原理，器械的转动引起牙本质的抗力来抵抗回复力的作用，使器械在扩弯曲根管时，维持原根管的解剖走向。

2. 平衡力法的技术要点 手法为顺时针方向旋转90°～180°使器械进入根管，注意不宜超过180°，以防器械尖部过多侵入侧壁。逆时针方向旋转360°（至少应大于120°）并向下加压切削牙本质，当根管弯曲度较大时，可适当减少旋转角度，以免因过度旋转使器械疲劳。接着顺时针方向旋转360°并向外提拉退出器械。根尖预备的最大号码为40#。值得注意的是器械在插入、切削和退出根管的过程中只能转动。扩大根管时，应尽量避免锉法使用。在预备过程中，应反复用次氯酸钠冲洗，并保持根管湿润状态。

3. 平衡力法的步骤

（1）根尖段的预备：假设初尖锉为15#锉，工作长度为20mm，K锉预备。预备顺序为15#→20#→25#→30#→35#，每根锉的预备工作长度皆为19.5mm。

（2）根管冠段的预备：用2#G钻、3#G钻、4#G钻按先后分别以17mm、16mm、15mm预备，使呈漏斗状。

（3）用40#锉及45#锉预备，工作长度为19mm。

四、根管预备的器械

常用根管预备器械包括K扩孔钻、K锉、K-Flex锉、Flex-O锉、H锉、G钻等。与传统的手用不锈钢器械相比，机用镍钛器械可高速预备根管，并减少弯曲根管中台阶和穿孔的发生（表12-1）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

1. 常用的手用根管器械

（1）K 扩孔钻：当器械在根管中做顺时针方向旋转动作时可切削牙本质，其抗折性和柔韧性较好。

（2）K 锉：也是用横截面为三角形或方形的金属丝拧制而成，K 锉的螺纹较扩孔钻密，操作时可用旋转或提拉动作切削根管壁的牙本质。

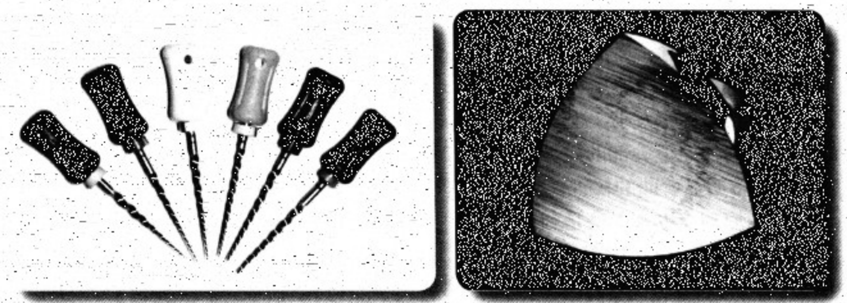
（3）H 锉：为不锈钢制成，螺旋状，横截面为圆形，刃与轴成直角。H 锉仅限于提拉使用，不可旋转，适用于直根管。H 锉尤其适用于根尖孔未形成的年轻恒牙的根管治疗；也可用于去除根管内折断器械和银针，两根 H 锉就有可能和根管内卡住的物体缠在一起，然后取出；还可用于根管再治疗时，去除旧的牙胶尖。

（4）K-Flex 锉：与 K 锉相似，不同之处在于横截面为菱形，锐角角度为 80°，较方形横截面器械的切削能力高。菱形的两个锐角使刃更锐利，两个钝角因直径较少增加了器械的柔韧性。K-Flex 锉的刃部呈高低相间排列，可容纳并移走更多的碎屑，因而它比普通 K 锉的切削作用更强。

（5）Flex-O 锉：器械横截面为三角形，工作端为 29 圈螺旋，螺旋角 30°，尖部张角为 45°，为非切削尖端。制造材料为优质软钢，具有很好的柔韧性，适合预备弯曲根管。

（6）Flex-R 锉：器械根尖部为光滑的抛物线，横截面为三角形；螺旋槽由机械磨削而成，螺旋角 30° ~ 40°；尖部与螺旋的连接处光滑圆钝。Flex-R 锉与普通 K 锉的切削效率之间没有明显差异，但却能更好地定位于根管内，对主根管的解剖方向改变较小，因此，适合弯曲根管的预备。

（7）手用的镍钛器械：与普通不锈钢手用器械相似，也有和机用镍钛器械相同的特点，如手用 Protaper 器械（图 12-7）。



（A）　　（B）

图 12-7　手用 Protaper 器械

（A）手用 Protaper 器械　（B）手用 Protaper 的横截面

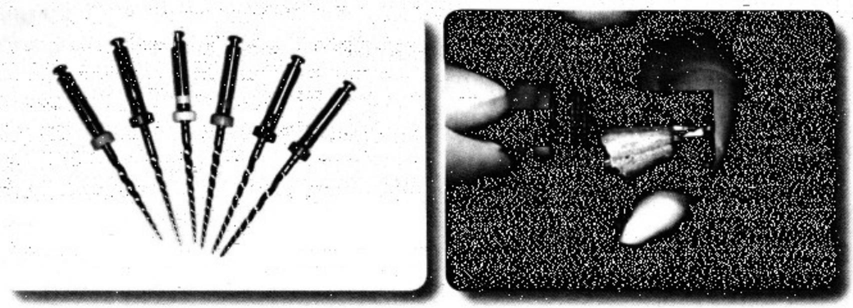
2. 常用的机用镍钛器械

（1）Profile 器械：Profile 包括三种类型的器械：①根管口成形器：锥度 0.05 ~ 0.08，有 1# ~ 6#，长度为 19mm，柄部标有 3 个色环；主要用于根管冠部的预备，在桩腔预备和根管再治疗时，也可用于去除牙胶和封闭剂。② Profile.06：锥度为 0.06，有 15# ~ 40#，长度为 21mm 和 25mm，柄部有 2 个色环，用于根中部的预备，在根管弯曲度较小时，也可用于根尖部的预备。③ Profile.04：锥度为 0.04，有 15# ~ 90#，长度为 21mm、25mm 和 31mm，柄部有 1 个色环。常用于根尖部的预备。Profile 横断面为 U 形，在器械轴心与根管壁之间有 3 个辐射状平坦区，可防止器械嵌入根管壁和引起的根管偏移。

（2）Protaper 器械：包括 3 根成形锉 SX、S1、S2 和 3 根修整锉 F1、F2、F3。SX 锉柄上无色环，主要用于根管口的敞开和成形；S1、S2 柄上分别带有紫色和白色环，用于根管口及根管中上段的初步成形；3 根修整锉 F1、F2、F3 分别带有黄、红、蓝色环，代表器械尖端直径为 0.20、0.25、0.30，其锥度

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

分别为 0.07、0.08、0.09，用于根管的最后的清理成形。一般要根据根管的原始大小选择合适的修整锉。由于 Protaper 器械采用大锥度设计，根管成形效果好。使用 Protaper 器械预备根管时一般采用冠向下预备技术，同时 Protaper 器械也有手用的根管预备器械，设计和机用的一样。根管预备手法为顺时针旋转，像削铅笔一样，切削根管壁的牙本质，旋转切入直至其锁住，逆时针松脱并退出（图 12-8）。



（A）　　（B）

图 12-8　机用 Protaper 器械

（A）机用 Protaper 器械　（B）机用 Protaper 器械的工作原理

机用镍钛器械的优点（与传统锥度为 0.02 的手用锉相比较）：

（1）需要更少的器械。

（2）治疗过程更快。

（3）可预知的可靠结果，即失败的几率更低。

（4）减轻医师疲劳（手指不会酸痛）。

（5）根管预备的锥度更大。

（6）有利于清理和充填。

（7）提高治疗的成功率。

（8）最大限度地减少治疗后可能出现的问题。

表 12-1　各种器械的比较

	机用 NiTi 锉	手用 Protaper	不锈钢手用锉
根管的最终形态	光滑且预备的锥度较大	与机用 NiTi 器械相同	很难预测，根管壁常粗糙、锥度较小
形成台阶的可能	低	低	高
将碎屑推出根尖的可能	很小	很小	高
器械折断的可能	低到中度（需要提高警惕）	低（有手感反馈）	低
根管预备时间	很快	快	慢
充填是否方便	是	是	一般
治疗严重弯曲的根管	非适应证	适应证	一般
舒适度（患者和医师）	极好	很好	一般
每个根管的成本	中等到高	低到中等	低

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

五、根管冲洗

（一）根管冲洗的原则

根管冲洗是根管预备过程的重要环节之一，对根管治疗成败起关键作用。根管冲洗主要作用：①及时去除根管内感染物和牙本质碎屑，避免扩锉过程中根管内的感染物和牙本质碎屑推向深部或推出根尖孔，同时有助于预备器械所不能到达的区域的清洁；②溶解有机物，有利于清除残余的牙髓组织；③破坏和杀灭病原微生物，如次氯酸钠冲洗液；④润滑根管壁，有助于器械进行根管扩大和减少器械折断；⑤去除根管玷污层及软化细小或钙化根管壁的牙本质，如 EDTA 液。根管冲洗的三重原则：根管冲洗液量要足够；次数要足够，每次换锉均应冲洗；冲洗的深度要足够，冲洗器应能轻松地进入根管的 2/3 或离根尖狭窄 4～6mm 处。

（二）常用的根管冲洗液

包括：①次氯酸钠（NaOCl）：推荐使用浓度为 0.5%～5.25% 不等；②过氧化氢：一般浓度为 3%；当次氯酸钠和过氧化氢液联合冲洗时，保持最后的冲洗液为次氯酸钠；③生理盐水；④乙二胺四乙酸（EDTA）。冲洗方法包括：①注射器冲洗；②超声冲洗；③声波冲洗等。

六、根管预备过程中发生的问题与对策

1. 髓腔入口预备意外　髓腔入口预备过程中出现的问题容易发现和处理。主要包括髓腔入口预备不足造成根管口暴露不完全或未暴露，以致遗漏根管；开髓时原修复体破坏如烤瓷冠等；髓室壁侧穿和髓室底穿孔；开髓时牙冠劈裂，多发生于原有隐裂的牙齿。为防止意外可以多参考前面有关章节的髓腔解剖形态的应用。

2. 工作长度的丧失　工作长度丧失是根管预备过程中的常见问题，也是根管预备过程中一系列问题的结果。主要原因为根管堵塞、台阶形成、器械折断及根尖区牙本质碎屑堆积等。此外，止动片的移位、参考点的变化、X 线投照角度的不准确及器械使用不当等也需注意。预防原则：恒定参考点，固定止动片位置，恒定 X 线的投照角度，预弯所有根管锉，注意根管锉的弯曲方向应与根管弯曲一致，预备过程中尽可能保持根管的原始形态，保持足够的冲洗并反复用小号锉通畅根管（recapitulation），逐号预备，切忌跳号，当小一号锉充分预备根管后，再换下一号锉。一旦工作长度丧失，应根据不同原因进行相应处理。采用逐步后退法进行根管预备时，工作长度在预备前确定，预备后由于根管冠 2/3 的充分扩大和弯曲的适度拉直，会有很小部分的工作长度丧失；对于中重度的弯曲根管，根管预备过程中应每扩大三号，重新确定工作长度，以免造成根管预备过度。

3. 根管堵塞　当根管锉不能进入根管全长，到达根尖狭窄处，称为根管堵塞。根管堵塞的原因很多。主要包括根尖区牙本质碎屑、组织碎屑堆积，充填材料堵塞，棉捻、纸捻、折断器械和粘固剂等堵塞。为避免根管堵塞的发生，最好遵循以下预防原则：开髓之前一定去净龋坏组织、无基釉和松动的充填体等；开髓孔预备要充分，特别是有全冠存在时，更要充分扩展；开髓孔的壁应能与根管的中下 1/3 形成直线，避免器械进入根管时的冠部障碍；大的充填体或全冠开髓时要喷水，避免金属或树脂碎屑的堆积；复诊时应去净髓腔壁上暂封材料；拔髓、根管探查和根管预备均应配合大量冲洗；根管锉再次进入根管应清洁；根管锉不可跳号使用；反复使用小号锉通畅根管；根管锉不可过度旋转或用力；预备根管一定要在湿润的条件下进行；为避免异物进入根管，约诊期间暂封要完善。对于原先通畅的根管在预备过程中不能获得已确定的工作长度，X 线片显示诊断丝与根尖狭窄处有一定的距离，根管长度测量仪也显示根管锉未能达到根尖狭窄处，在排除台阶形成的情况下一般可以确定根管出现堵塞。根据堵塞物的不同，采用相应的处理方法，但多数情况下，术者很难知道堵塞物的性质。首先，将堵塞物以上的根管作充分的预备，便于器械无阻力到达堵塞部位，然后采用以下处理方法：①试用预弯 10# 和 15# K 锉或扩孔钻通过堵塞处：将 10#、15#K 锉尖端 3～4mm 弯成 45° 角，沿堵塞物周缘旋转进入，寻找卡住的感觉。一旦卡住，采用向根尖部旋转和小幅度提拉的动作，多次反复，逐步通过堵塞部达到工作长度，

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

并拍 X 线片确定。根管锉一定要预弯，直的锉可能会将堵塞物推向根管深部或根尖孔。锉的尖端蘸上含 EDTA 的根管润滑剂（RC2PreP，Glyde）将有明显帮助。②超声处理法：显微镜下，可将 15#、20# 超声锉尖端适当预弯，超声振荡取出或通过堵塞物。无显微镜条件下，也可用超声法试处理，对于粘固剂、牙本质碎屑，效果良好。对于金属堵塞物和折断器械最好在显微镜下进行操作。③如果堵塞部位不能通过，应预备到堵塞部位，并做根充，定期观察，必要时行根尖手术。

4. 台阶（ledging）形成　台阶是指根管预备过程中人为造成根管壁的不规则，致使根管锉不能通过原来通畅的根管到达根尖。台阶的主要成因：髓腔入口预备和根管的冠部预备不够，未形成与根尖 1/3 的直线通道；根管荡洗和润滑不充分，根尖区牙本质碎屑堆积；根管锉未预弯，在未达到工作长度情况下向根尖区过度用力；在弯曲根管中，根管锉换锉过快、跳号或根管锉过度粗大；到达工作长度后过度旋转根管锉；过度扩大弯曲根管，根管弯曲度越大，台阶越易发生。

台阶形成的预防：对于通畅根管，15#K 锉能达到根尖区，应将锉的尖端 3mm 预弯，沿根管弯曲走行逐步进入根尖区，不要过度向根尖区用力。到达工作长度以后，应做短距离（1～3mm）锉的上下提拉动作，直至根管锉能无阻力的到达根尖区。切忌根尖区预备时器械根向过度用力和旋转。一旦器械被卡住不能到达根尖区，应立即冲洗根管，并换小号锉如 08 #、10#、15# 锉除根管壁上的不规则部分，防止台阶形成。充分的荡洗和根管润滑剂的使用是必不可少的。细小、弯曲的长根管更容易形成台阶。对于细小弯曲及钙化的根管，预防台阶形成的预备步骤如下：髓腔入口和根管口充分预备后，将髓腔内充满 NaOCl，用预弯的 06#、08# 和 10#K 锉旋转 1/8～1/4 圈，结合根管润滑剂，逐渐达到工作长度。一旦到达工作长度，采用锉的动作，1～3mm 短程提拉将根管的各个壁充分预备，直到无任何阻力；可用同号的 H 锉进一步将根管壁扩大，获得准确工作长度。当 15# 锉完成预备，能达到工作长度后，应采用逐步深入法预备根管。每次更换器械都要用 15# 锉保持根管的通畅至关重要。一旦台阶形成，去除相当困难。细小根管锉造成的台阶有可能去除或通过，25# 或 30# 锉产生的台阶通过较困难。台阶通过的方法与根管堵塞物的通过方法一致。一旦台阶形成后，即使初始的锉能够通过台阶，进一步的根管预备过程和根管充填仍有进入台阶的倾向。如果台阶不能通过，原始根管不能进入，应重新确定工作长度到达台阶处，进行适当的根管预备和充填。当台阶以上根管预备完成后，形成进入根尖区的良好通道，有助于台阶的通过，应再次采用 10# 预弯的不锈钢 K 锉试着通过根管，有一定比例的台阶此时可获得通过。台阶形成后，不能进行完善的根管预备和充填，其预后与台阶下方未预备和未充填的根管的清洁程度有关。一般认为，靠近根尖区且清洁良好的台阶预后较好。对于产生台阶的病例，应告之患者预后情况，定期随诊，出现临床症状或 X 线片出现根尖病变时，应及时行根尖手术或再治疗。

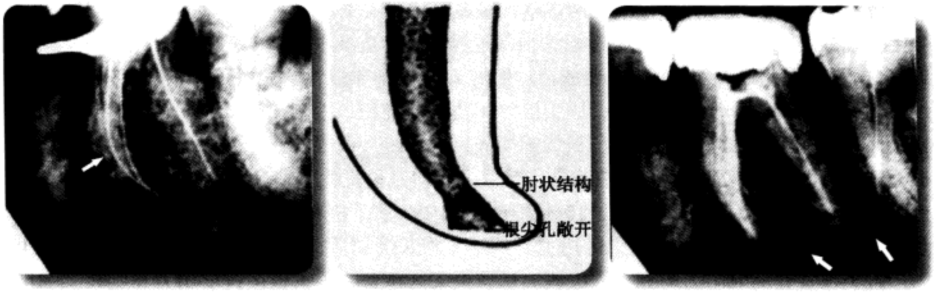
5. 根尖区偏移

（1）人造根管（creating an artificial canal）：人造根管是指预备后的根管与原根管的走行和中心线不一致，是根管偏移的一种。造成台阶的各种原因均与人造根管形成有关，因此，避免台阶形成也就预防了人造根管的发生。一旦台阶产生和工作长度丧失后，术者为了重新获得工作长度，向根尖区过度用力，会造成人造根管。进一步预备人造根管，最后会造成根管壁穿孔。过大的台阶或人造根管形成后，很难寻找到原始根管，更难以进行预备和充填。术者应首先根据根管长度测量仪、纸捻检查和 X 线诊断丝照相确定有无穿孔。如无穿孔，应重新确定工作长度，预备后根充；如有穿孔，应对穿孔进行根管内修补或手术修补，具体方法见根管壁侧穿。对于人造根管的病例，如无穿孔，且原始根管能够找到，并获得完善预备和治疗，则预后与正常病例一致；如原始根管未找到，残留较多未预备和根充的根管，则预后较差，应定期观察，必要时行根尖手术。

（2）根尖孔敞开（zipping）：由于根管预备不当，造成根尖孔扩大，呈泪滴状，使正常根尖孔解剖结构破坏，导致根管充填不严密。主要原因是根尖弯曲部预备时根管锉未预弯、器械旋转过度、根管锉选择过大或向根尖区过度用力。由于根管锉在根管弯曲部过度旋转，常在根尖孔敞开处上方形成一个狭窄处，称为肘状结构（elbow）（图 12-9）。为了预防根尖孔敞开，做根尖区 3～4mm 预备时，器械一定要充分预弯，并沿根管弯曲方向做小幅度的上下提拉；用弹性良好的细小根管锉充分预备；采用向弯曲

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

相反方向预备技术（anticurvature filing）。若根尖孔敞开已形成，可采用各种充填方法，首选用含 $Ca(OH)_2$ 根充糊剂和热牙胶技术进行充填；如果并发侧穿，应使用 MTA 修补或含 $Ca(OH)_2$ 糊剂与热牙胶技术进行根充。对于产生肘状结构的病例，根充只能填到肘部，应定期随诊，必要时行根尖手术。



（A）　　（B）　　（C）

图 12-9　根管在根尖处弯曲预备中形成根尖孔敞开

（A）根管锉插在根管内显示弯曲程度　（B）模式图显示肘状结构和根尖孔敞开　（C）充填后 3 个月显示根尖有较大的暗影

6. 根管壁侧穿　根管预备和成形过程中可造成根管不同部位的穿孔。穿孔的部位和大小，以及发生的时期对根管治疗预后的影响不同，在根管预备过程中，穿孔发生越早、直径越大，对预后影响越明显。

（1）根尖区穿孔：根尖区穿孔包括根尖孔过度预备和根尖区根管壁侧穿。根尖孔过度预备将在根管预备不当的内容中讨论。根尖区根管壁侧穿主要发生在弯曲根管、台阶形成或根管堵塞部位，主要原因是预备过程中根管锉未预弯或过于粗大。一旦预备过程中患者突然出现疼痛、根管内出血明显、纸捻尖端较多鲜血和根尖狭窄区手感丧失，应高度怀疑侧穿发生。在进一步预备之前，应采用 X 线诊断丝照相确诊。穿孔发生后应尽力寻找原始根管，将穿孔处作为新的根尖孔和原始根尖孔一同封闭，最好采用垂直加压技术，有条件可采用 MTA 对根尖区进行修补或充填。根尖病变形成后应进行根尖手术。

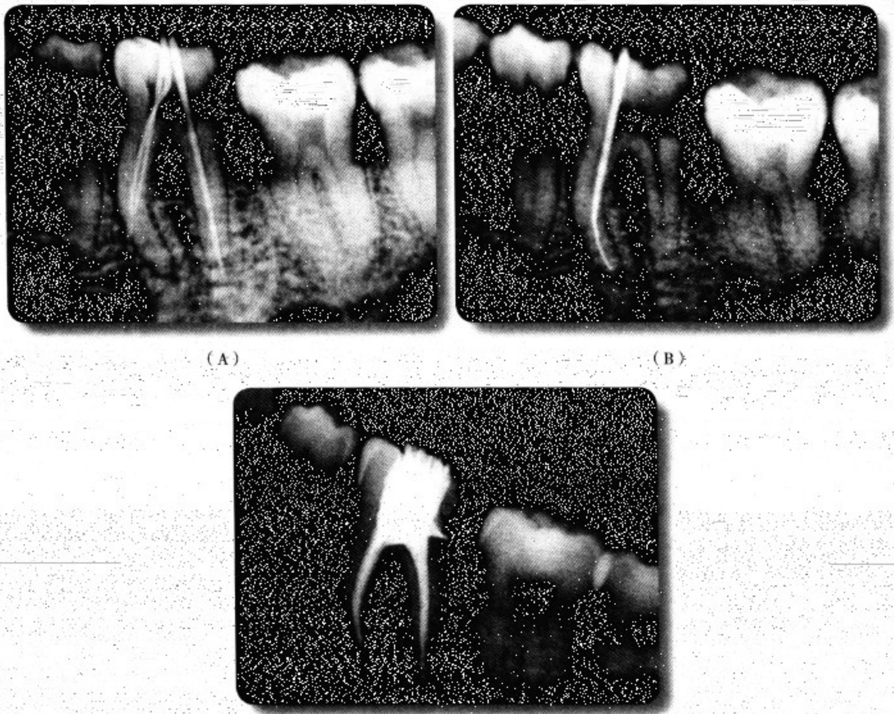
（2）根中部侧穿：根中部弯曲根管的台阶形成或根管壁预备过度变薄后穿孔（stripping）是根中部侧穿的主要原因。好发于弯曲根管的内侧壁或凹陷处，表现为根管内突然出血或预备中患者突然出现不适，纸捻中部有新鲜血渍，显微镜下可见鲜红的穿孔区。根中部穿孔可以在显微镜下从根管内修补或根充后外科手术修补，MTA 是修补的良好材料。预防根中部穿孔应遵循弯曲根管的预备原则，谨慎使用机用旋转器械，采用向弯曲相反方向预备方法（图 12-10）。

（3）根管冠部穿孔：根管冠部穿孔多发生在寻找和扩大根管口及 GG 钻应用不当时。特点是预备过程中突然出血，肉眼或镜下可以直视穿孔的存在，X 线诊断丝照相和根管长度测量仪可以帮助确诊。修补可采用多种材料，如银汞和玻璃离子等；对于各类穿孔修补效果最肯定的材料是 MTA，可用于根管内修补或根管内加外科手术修补。

7. 根管预备不当

（1）根管预备超出根尖孔：由于工作长度不准确或在预备过程中工作长度发生变化，造成器械超出根尖区预备，根尖狭窄处拉开。表现为根管内或根管锉上有新鲜出血，预备根尖区时疼痛加剧，根尖狭窄处手感丧失等。X 线诊断丝照相显示粗大根管锉超出根尖孔，根管长度测量仪也有指示作用。弯曲根管预备过程中工作长度会减少（一般 1～2mm），应注意预备过程中随时监测工作长度的变化。在发现根尖狭窄处丧失以后，应重新确定工作长度（比原始工作长度短 1～2mm），建立新的根尖止点，比原止点大 2～3 号，重新预备和根充。有条件可用 MTA 封闭根尖区。根尖狭窄区破坏后容易造成超充，根尖封

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A） （B）

（C）

图 12-10 36 根管侧穿的再治疗

（A）治疗过程中，发生侧穿 （B）再次根管预备后，试尖 （C）根管充填后

闭效果较差，预后与狭窄处破坏的大小和形状有关，必要时需行根尖手术。

（2）根管预备过度：是指根管壁的颊舌向和近远中向的牙体组织去除过多。对根尖区预备应遵循主锉的大小比初锉大 2～3 号的原则，越弯曲的根管主锉应越小。对根管中上 1/3 预备，特别是采用 GG 钻或其他机用旋转器械时，应防止牙体组织不必要的过度切割，造成根管壁薄弱，甚至根管穿孔或纵裂。

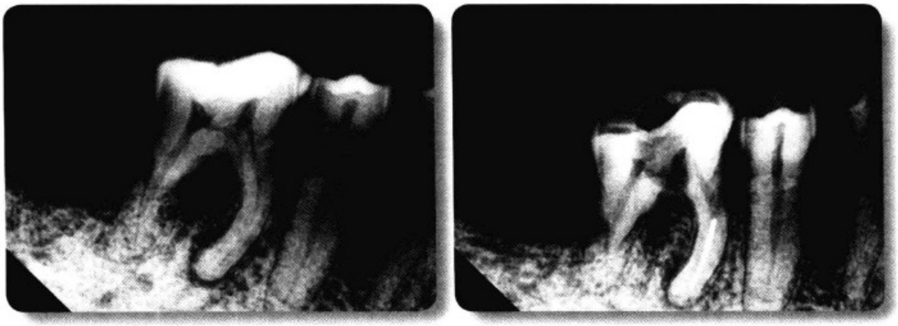
（3）根管预备不足：是指根管内的牙髓组织、牙本质碎屑和微生物未完全去除，预备后的根管形状未形成连续的锥度，难以获得严密的三维充填。表现为主锉、相应的侧压器或主牙胶尖难以达到工作长度；主牙胶尖进入根管后，侧压器无法进入或无足够的侧压空间。根管预备不足时应遵循根管预备原则重新预备，根充前应预试侧压器或垂直加压器，有条件应做主牙胶尖 X 线照相。

8. 器械折断 根管预备过程中可能发生器械折断，折断的器械会阻碍根管的通畅，妨碍根管的进一步清理和成形，而终会对根管治疗效果可能产生负面影响。Sattapan 等将其分为两类：扭转折断和弯曲疲劳折断。扭转折断是当应力超过金属弹性极限时产生塑性变形后的折断，这种情况发生在器械刃部嵌在根管中而杆仍在持续运转。折断器械的断端附近可见某些变形缺陷，如螺旋松解、反向弯曲并有紧致螺纹或包含以上特征的综合变形。弯曲疲劳折断是由于器械在根管弯曲处出现金属疲劳，即器械在根管旋转中于最大弯曲部位发生的折断。弯曲疲劳导致的器械折断是合金结构发生了变化，通常发生在应力低于器械的弹性极限，折断器械的断端显示出一个锋利而不伴有任何可见变形缺陷的断裂，即折断面为一平滑表面。Cheung 等根据折断器械断面的显微特征及折断的力学原理，将器械折断分为剪切折断和疲劳折断。剪切折断的断面没有疲劳纹而表现为磨损印迹或拉长的韧窝等特征；疲劳折断的断面有疲劳纹。实际在临床上，镍钛根管器械的折断可能由疲劳引起，也可能由剪切力所致，更有可

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

能两种因素同时存在。

器械折断由多种因素引起，根管解剖形态异常是非常重要的原因。细小弯曲、变异和钙化的根管，以及增龄性变化而出现继发性牙本质导致根管狭窄甚至部分闭锁，术者没有借助 X 线片准确了解根管形态、数目、粗细及弯曲程度，盲目地预备根管，就很可能造成器械折断。器械折断与根管直径、弯曲半径呈负相关，与根管弯曲度呈正相关。临床上镍钛合金器械的折断多发生于弯曲度大于 30° 的根管，而且折断的位置多位于根管弯曲的中下段（图 12-11）。其次，器械折断的原因是术者使用不当。预备根管时，越号使用或用力扭转，尤其是遇根管狭窄有阻力时，使用暴力扩锉，试图通过狭窄区。有些术者对机用根管器械及其技术要求不了解，将 Protaper、K3 等作为疏通钙化根管使用，有的认为可以使用气动低速手机驱动镍钛根管器械，仅需调低转速而已。事实上镍钛机用器械有其生产厂家推荐的转速、扭矩等技术参数。根管预备过程中应充分冲洗根管，根管冲洗不仅及时去除根管内的感染物和牙本质碎屑，还降低了根管器械预备阻力，使用 EDTA 润滑根管也能减小器械折断的可能性。



（A）　　（B）

图 12-11　弯曲根管器械折断

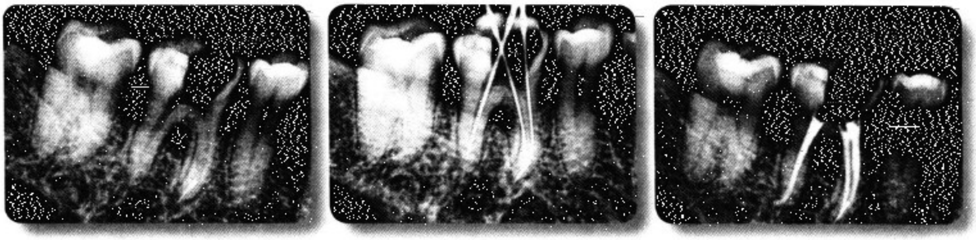
（A）弯曲根管　（B）根管器械折断

根据器械折断的部位和类型选择不同的取出方法，有多种取出方法在临床上应用，包括：①超声取出法：应用超声法围绕断针振动，断针随冲洗液漂出；② H 锉取出法；③套管取出法；④钳取法：适用于断针位于根管上段 1/3；⑤拔髓针取出法：用于试取，但操作要小心，防止拔髓针再次折断于根管内。无论使用什么方法，都应具备两个基本条件：①建立断针取出器械进入的通路；②保证良好的视野。

尽管器械折断的取出方法很多，近年来随着显微超声技术的不断发展，折断器械取出的成功率有很大提高，但仍有部分器械不能取出，如果强行取出，会破坏过多的牙根组织，使牙根强度降低，甚至造成根管壁侧穿或根折，所幸的是并非所有折断器械都会影响根管治疗效果。采用断针通过术，找出旁路也可以完成根管治疗（图 12-12）。所谓断针通过术是在折断器械的周围形成通路到达根尖，由于根管横截面是不规则形，器械折断后只与部分根管壁紧密嵌合，器械周围存在一定间隙，这就为形成旁路提供了可能。Al-Fouzan 应用镍钛 Profile 器械对 419 颗上下磨牙（1457 个根管）根管预备，21 个折断器械，有 1/3 都可以通过。有作者采用 8#K 锉在显微镜下结合超声预备，结果折断器械位于根管冠中 1/3 处均可建立旁路，位于根尖 1/3 者有一半以上建立了旁路。他们认为不能从旁路通过的原因主要是根尖过度弯曲或预备时形成台阶；并且在同一研究中观察到实施断针通过术的患者中术后 2 年的成功率达 80%，与常规根管治疗组相近，明显高于不能建立旁路组。

折断器械不能取出，又无法建立旁路，倘若距离根尖尚远，或器械折断超出根尖孔的，可采用根尖切除倒充填法，多根牙也可通过截根术或半切术保留部分牙根；倘若位于根尖，且折断的器械较短，约 1～2mm，即可将其作为根管充填物（图 12-13）。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　（B）　（C）

图 12-12　根管旁路的建立

（A）断针位于46近颊根管　（B）46断针根管建立旁路　（C）46根管充填后



（A）　（B）　（C）

图 12-13　根管器械折断作为根充物

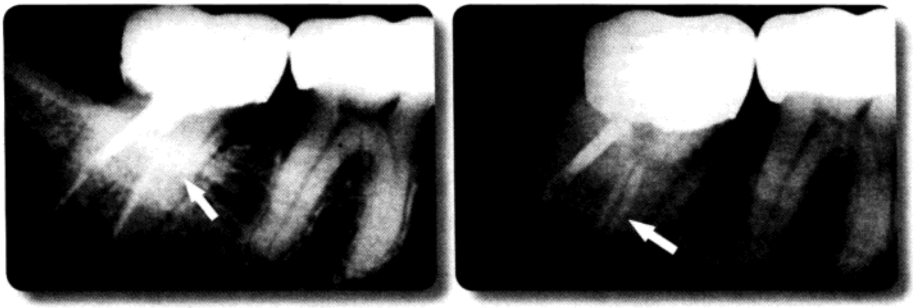
（A）46远舌根管内器械折断　（B）探测器械不能到达根尖孔　（C）46断针作为根充物充填后

根管器械折断重在预防，预防要点：①应非常熟悉根管系统解剖。②要了解各种根管治疗器械的性质，规范使用方法。K扩孔钻和K扩孔锉旋转角度一般为1/4～1/2圈，在弯曲根管最多只能旋转1/4圈，K锉螺纹比扩孔钻密，可用旋转和提拉动作。H锉刃口与根管壁接近垂直，只能做提拉动作。如果旋转，刃部嵌入牙本质容易折断，H锉只用于直根管的预备。不同的镍钛器械可能推荐使用不同的技术，如Profile、Protaper、K3器械倡导使用根向技术，LightSpeed运用逐步后退技术；手用GT器械采用根向技术加平衡力技术；而Mtwo器械推荐使用单一长度技术。③正确选择适应证：钙化根管、有台阶形成的再治疗病例不要选用镍钛器械；对形态复杂的根管应谨慎选用镍钛器械；遇到根尖陡弯、下颌第三磨牙等复杂病例，根尖部的预备可用手用器械替换机用器械。④确定根管通畅：制备冠部直线通路即髓腔入口的制备应有足够的大小和符合要求，以保证镍钛器械可循直线方向进入根管，减少冠部阻力和器械所承受的应力。在使用常规镍钛器械进行根管预备之前需制备根管直线通路，可采用G钻或镍钛材料制成的根管口成形器械如IntroFile、Endoflare预敞根管口或根管中上段，以减少根管上段的阻力或根管的弯曲度。例如在使用Mtwo器械时，可先用IntroFile等预敞根管中上段。⑤限制器械重复使用的次数。⑥正确规范地操作：扩锉时，应使用润滑剂，并大量冲洗，不可使用暴力，不可向根尖方加压，强力深入。严格遵循按器械序号，不可跳号扩锉。所有镍钛机用器械均应控制扭力和转速，在转动状态下进、出根管，以减少器械扭转折断的发生。镍钛机用器械在根管中应保持上下移动，避免器械在根管弯曲处出现应力集中，以减少疲劳折断的发生。每支器械在每一根管内的工作时间不超过5秒，当器械到达工作长度后要立即退出，以降低器械疲劳折断的风险。⑦临床使用镍钛器械之前，应多在离体牙上训练。

9. 根管遗漏　根管遗漏是由于术者在根管治疗中没有将患牙的全部根管封闭充填，而导致失误的主要原因是手术操作者太过分相信X线影像所见，然而在某些情况下是由于没有调节到正确的投射角度，或者根管本来在X线片上就对比度不佳，致使根充后患牙迁延不愈，解决的措施可以重新寻觅遗漏的根

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

管给予治疗（图 12-14）。因而，对于根管类型多样，除仔细辨认 X 线影像的细微变化外，还应在开髓后常规仔细寻觅根管口，以免遗漏根管（图 12-15）。



（A）　　（B）

图 12-14　47 治疗过程中根管遗漏

（A）治疗中没有发现近中遗漏有根管，术后 18 个月 X 线片显示根尖暗影　（B）近中根内有双根管，充填后 1 年摄片，显示病变痊愈



（A）　　（B）　　（C）

图 12-15　47 的根管治疗

（A）治疗前拍 X 线片显示根管不清晰　（B）在治疗中发现为 2 个根管并充填　（C）治疗后 6 个月拍 X 线片显示病变区已愈

第三节　根 管 充 填

根管充填是根管治疗全过程中关键步骤之一。根充目的是严密封填根管系统，杜绝再感染。然而到目前为止，没有一种根充方法能完全封闭根管系统，阻止微渗漏的发生，而且完善的根充必须建立在良好的根管预备的基础上。常用的根充方法有：冷牙胶侧方加压法、热牙胶垂直加压法、注射热牙胶技术、热塑牙胶技术、负压法根管充填技术等。现在临床上常用的是前两个技术。

一、根管充填的标准

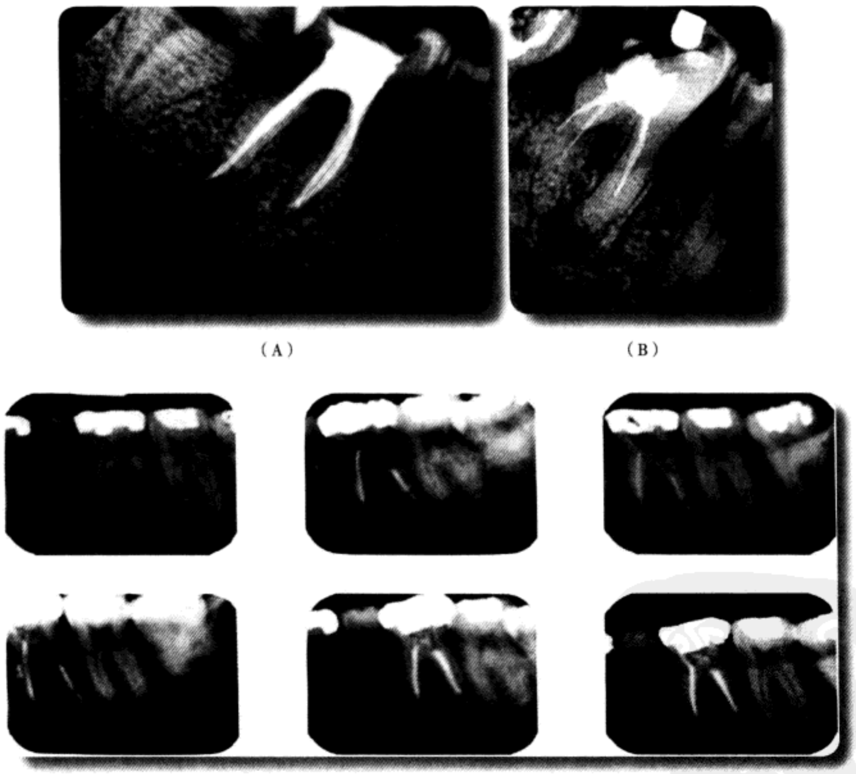
理想的根充应是根充材料将根尖区牙本质牙骨质交界处以上的根管三维空间严密封填。临床判断根充的质量只能用 X 线根尖片按适充、欠充和超充评定。评定标准包括两方面：①根充材料与管壁（仅能

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

显示近远中壁）紧密贴合，管壁无 X 线透射影像；②根充材料应达到根尖区牙本质牙骨质交界处。

根管充填的质量通常要拍 X 线片来评价，根据大量离体牙的测量发现：牙本质牙骨质交界处距根尖孔外缘约 0.5 ~ 1.0mm；根尖孔的位置不一定在牙根最尖处，根尖孔外缘距牙根最尖处（即 X 线片的根尖）约 0.5 ~ 1.0mm。Strindberg 提出的标准是：①欠充：充填材料距根尖 1mm 以上；②适充：充填材料距根尖 1mm 以内或超出根尖 1mm 以内；③超充：充填材料超出根尖 1mm 以上。该标准未把根尖封闭情况考虑进去，显然欠妥。Van Nieu-wenhuysen 等认为根充质量评价标准应以根充料距根尖水平、根充密度和根尖封闭质量来决定，他们的评价标准分为差、可疑、满意、好 4 个等级。①差：充填材料距根尖 5mm 以上或超出根尖 3mm 以上或充填不严密；②可疑：充填材料距根尖距离 > 3mm，但≤5mm，或充填材料超出根尖 1 ~ 3mm，或根尖封闭不可靠；③满意：充填材料距根尖 > 1mm，但≤3mm，或超出根尖≤1mm，根尖封闭存在较小空隙；④好：指根充料距根尖≤1mm 和根尖封闭严密。该标准略显复杂，被他人引用似乎不多。

目前，常采用的适充标准为：根管充填致密、无缝隙、充填材料距 X 线片根尖≤2mm，如根充材料距根尖 2mm 以上或即使≤2mm 但充填不致密或超出根尖，则认为是治疗上的失误（图 12-16）。



（A）　（B）

（C）

图 12-16　（A）良好的根管充填——适充　（B）根管充填不良——欠充　（C）显示 36 在根充时超充严重，患者在治疗后疼痛，连续跟踪边治疗边观察，但超充的材料始终存在没有被吸收

二、根管充填的时机

1. 感染根管的充填时机　患者的症状和体征、牙髓和根尖周组织的状况及治疗的复杂程度决定根管

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

治疗的次数和根充的时机。感染根管的充填应在病源物已去除、感染已被控制，病变开始恢复的情况下进行根管充填；具体指征为：①根管内的腐败组织已经完全去除，经过彻底的根管预备，根管消毒，暂封物完整；②患者无自觉症状；③根尖部牙龈无红肿，无叩痛，无压痛；④根管内无渗出，无臭味。

一般认为，患者诊断为急性根尖周炎，存在急性症状时，是根充的禁忌证。临床实践证明，对于牙髓炎的病例，不管炎症的状态如何，在治疗过程中完全去除感染的牙髓和完善的根管预备后，在时间允许的条件下，可以一次完成根充。对于牙髓坏死和慢性根尖周炎的病例，也可以一次完成根充。但多数研究表明，在根管内封 $Ca(OH)_2$ 糊剂 1 周后再进行根充有利于根尖病变的愈合和长期疗效。根管内无渗出，用纸捻将根管内完全干燥是根充的前提。对于根尖周炎或根尖周囊肿，根管内有持续渗出的情况下，不能即刻进行根充，应在根管内封 $Ca(OH)_2$ 糊剂 1 周，减低或控制渗出后再行根充；如果无渗出，叩诊 I 度，也可以进行根管充填。患牙临床检查无异常表现是可行根充的另一项条件。在根管治疗期间，一旦炎性分泌物得到引流，就无根管预备和根管充填的禁忌证。

2. 根管治疗一次法　Pekruhn（1986）认为根管治疗一次法是：①从开髓、根管预备和根管充填一次完成；②为了减轻患者疼痛曾做过开髓引流，在复诊时一次完成根管预备和根管充填；③因过去根管治疗失败，现在一次完成根管的再治疗。需要二次根管充填的原因：①去髓后，根管内常有流血，即使暂时止住，但以后仍有渗血，充填后可产生血液聚集，压迫根尖周组织，引起疼痛，同时也影响根尖的封闭性；②拔髓后，组织断面可产生反应性炎症，引起不适；③由于拔髓术大多在局部麻醉下进行，患者的根尖周组织失去感觉，使术者的根尖定位产生困难，往往导致超充，引起术后疼痛。

三、根管充填的方法

冷牙胶侧方加压法和垂直加热加压法是经典的根充方法，也是临床上常用的方法，两种方法均需结合根充封闭剂使用。对于一些特殊病例最好采用垂直加压法，如根管内吸收、根尖狭窄处破坏、根尖孔敞开、根侧病变需要封闭侧副管或多根尖孔的封闭等。

1. 侧方加压法技术（lateral condensation）　侧方加压法是目前临床最常用、口腔科学校普遍教授的根充方法。适用于绝大多数根管，但对于严重弯曲根管、根管内吸收、根尖孔开放或破坏等有一定难度。一般要求预备后的根管为连续的锥形，并有良好的根尖止点。侧压法的优点为：使用器械较少，操作简单，根管封闭效果良好，能有效控制根充牙胶尖的长度，再治疗容易，便于桩核制作。缺点为：不能进入根管侧支，牙胶尖之间封闭不严，根尖 1/3 封闭剂较多，密度不如根管中上段。

侧方加压法操作步骤和技术要点：

（1）主牙胶尖选择：与主锉一致的主牙胶尖能进入根管，比工作长度（working length，WL）短 0.5mm，并在根尖区 1～3mm 有紧缩感。否则，应逐次切除牙胶尖尖端 0.5～1mm，直到获得合适的长度和紧缩感。然后，用主牙胶尖 X 线照相进行评价：①合适的主牙胶尖：比 WL 短 0.5mm，在根尖区 1～3mm 有紧缩感，根管中下 1/3 至根管口有侧压的空间；②主牙胶尖不能达到合适的长度：常见原因为根管中下 1/3 预备后三维形态不足、根尖区牙本质碎屑堆积、台阶存在、根管弯曲及主牙胶尖选择过大等，应进一步进行根管预备或更换主牙胶尖；③主牙胶尖合适，但根管冠 2/3 无侧压空间，根充前应重新预备根管；④主牙胶尖超出根尖孔、在根尖区与根管壁不密合或呈弯曲状，说明主牙胶尖过小，应重新选择大号的牙胶尖。

（2）侧压器的选择和预插：侧压器有带柄（hand spreader）和不带柄（finger spreader）两种，由不锈钢或镍钛材料制成。规格有 ISO 标准的 0.02 锥度（20#、25#、30#、40#、50#、60#）和与非标准牙胶尖相应的大锥度侧压器。不带柄侧压器手感明确，便于控制，较带柄侧压器更常用。在根充前应先选择侧压器，根据根管预备的锥度不同，通常要求侧压器较主锉小 1#～2#，能自如进入根管，比 WL 短 1～2mm；对于弯曲根管应做侧压器预弯或采用镍钛侧压器；侧压器上应有止动片标识，侧压深度为 WL 减去 1mm。侧压时力量的大小文献报道差异较大，约为 1～3kg。

（3）糊剂充填：输送根充糊剂方法很多，如主牙胶尖、螺旋充填器、锉或扩孔钻、超声锉和光滑髓

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

针等。对于侧压法，根充糊剂应放到 WL，涂满根管壁，而无需充满根管。

（4）主牙胶尖充填：主牙胶尖蘸满一层根充糊剂，轻轻插入根管到达相应长度（WL 减去 0.5mm），停留 20～30 秒使其稳定。此时，由于压力的存在，患者可能有轻微不适，属正常反应，应预先告诉患者。

（5）侧压和副尖充填：将预选的侧压器轻轻旋转垂直插入到相应长度（WL 减去 1mm），停留 20 秒左右，使主牙胶尖产生形变，旋转 90°～180° 冠向取出侧压器。副尖蘸上糊剂放到侧压器的深度，副尖大小应与侧压器一致或小一号，逐渐向冠方侧压充填，每次侧压的深度只能较前一根副尖的插入深度短 1mm，直到侧压器只能进入根管口下 2～3mm 为止。如果预选的侧压器不能插入到相应长度则说明根管预备锥度不足或所选侧压器过大，应选择小一号的侧压器侧压，甚至需要重新预备根管。

（6）充填完成和髓室的处理：用加热的垂直加压器、挖匙、小号充填器或专门的加热设备从根管口切除牙胶，用垂直加压器压实根管口牙胶，形成良好的冠部封闭效果。用棉球清除髓室内的根充糊剂和牙胶，拍 X 线片判定根充情况。然后，根据不同情况选择暂封、永久充填或桩核制作。

2. 垂直加压技术（vertical condensation）　与侧压法相比，垂直加压技术能更好地将软化的牙胶和糊剂充入不规则的根管系统，适用于侧压充填的所有病例，对一些特殊病例效果好于侧压法，如严重弯曲根管、侧副管、根管交通支和多根尖孔等。其缺点为根充长度控制较难，操作步骤复杂及根管预备要求较高等。

其操作步骤和技术要点：

（1）主牙胶尖的选择：获得良好的根管预备后，主牙胶尖的选择是关键的步骤之一。主牙胶尖为非标准牙胶尖，可自由进入距根尖狭窄处 1～2mm，在根尖区有紧缩感，应确定紧缩感在根尖部而不是根管中上部。然后，用主牙胶尖 X 线照相进行评价：①合适的主牙胶尖：距 WL 1～2mm，根尖区与根管壁密合，锥度与根管锥度一致；②主牙胶尖过短：可能由于主牙胶尖上部被卡住，主牙胶尖锥度不良，根尖区牙本质碎屑堆积，根管预备问题如台阶、堵塞和根管壁侧穿等，以及弯曲根管弯曲部预备不足；③主牙胶尖超出根尖孔：主牙胶尖锥度过小，根尖孔被过度预备破坏。对于主牙胶尖过短或超出根尖孔，根据不同原因进行相应处理，如改变牙胶的锥度或尖端直径及根尖区再预备等。

（2）垂直加压器的选择和预插：最常用的垂直加压器是 Schilder 设计的，尖端直径从 0.4～1.1mm，每号增大 0.1mm；也有 ISO 标准的。多数根管充填只需要 3 根垂直加压器，短小根管只需 1 根，长根管需要 4 根。大号垂直加压器只进入根管的冠 1/3，中号垂直加压器进入根中 1/2，最小垂直加压器应能自由到达距根尖区 3～4mm 处。每只垂直加压器在到达相应深度时均不应与根管壁有接触或被卡住。

（3）加热装置：垂直加压技术必须具备加热系统，以便逐段软化和切除牙胶，完成垂直加压步骤。临床上最常用的加热设备为 Touch n'Heat 和 System B 系统，其进入根管的部分类似于垂直加压器。

（4）根充糊剂充填：充填方法类似于侧压法，但在根尖区糊剂充填应比侧压法少，以防止糊剂超充（根尖孔开放时或根尖区完全为糊剂充填）。一般将少量糊剂涂于根管壁上，在垂直加压的同时，糊剂向根尖、侧方和冠方充填。

（5）冠根向充填：将主牙胶尖尖端 1/3 蘸上糊剂放入根管的合适深度，用加热器切除根管口以上的牙胶，大号垂直加压器向根尖区加压 5～10 秒，然后再用加热器加热 2～3 秒，去除 2～3mm 牙胶，再次垂直加压。循环加热和更换下一号垂直加压器，直到距离根尖区 3～4mm。冠根向充填时应注意：预选垂直加压器，最小号应能自由达到距根尖区 3～4mm；进入根管前垂直加压器要用乙醇棉球清洁，以防粘住牙胶；根向加压力量应均匀一致，不要过大；因加热后牙胶软化的深度约 3～4mm，应分多次循环完成垂直加压；对于弯曲根管，要预弯垂直加压器。

（6）根冠向充填：完成根尖区垂直加压后，应进行根冠向充填。将预选与根管锥度一致的牙胶尖，切成 2～4mm 牙胶段，用加热器粘住其一端，放入根管内并加热软化，然后垂直加压，多次循环，直到根管口或制作桩核需要的位置。也可用注射热牙胶技术如 Obtura Ⅱ 完成。注意牙胶段约 2～4mm，不要

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

过长；不要过度加热。

（7）根充完成和髓室处理：用棉球清除髓室内的根充糊剂和牙胶，拍X线片判定根充情况。然后，根据不同情况选择暂封、永久充填或桩核制作。

3. 热牙胶连续波充填技术（System B：continuous wave of obturation）是垂直加压技术的变异方法，需要使用可控制温度的System B加热系统，该系统进入根管部分设计成垂直加压器，加热和垂直加压同时产生，能一次完成冠根向充填步骤，其他步骤同垂直加压法，这种方法称为连续波技术。连续波技术操作快且准确，但技术要求较高，冠根向充填时要求温度设置为200℃，根管预备后要有良好的锥度，主牙胶尖的形态应与根管形态尽可能一致。

4. 注射热牙胶技术（Obtura Ⅱ，Ultrafil 3D）将特殊制成的牙胶加热后注射到根管系统内，与根充糊剂结合能获得良好的封闭效果。但存在根充长度不易控制和冷却后收缩的问题。Obtura Ⅱ为高温系统（160℃），注射出的牙胶温度为55～60℃，而Ultrafil 3D为低温系统（70℃），注射出的牙胶为38～44℃。优点为能够充入根管的不规则区域，与根管壁密合；缺点为有超充和热损伤的可能。

5. 热塑牙胶技术（Thermafil）Thermafil充填技术于1978年由Johnson发明，中心载体为塑料、不锈钢或镍钛，周围裹上牙胶的充填系统。热塑牙胶有一定的规格，与相应的预备器械一致，有良好的弹性和硬度。预备好的根管干燥后，涂上糊剂，选择合适尺寸的热塑牙胶加热后充入根管，从根管口上方1～2mm切除多余部分。热塑牙胶技术的根尖区封闭效果与常规根充一致，但冠部封闭有时欠密合。Thermafil充填技术适用于细小弯曲根管、有根管内吸收的根管以及C型根管的充填，能够提供理想的根管壁的顺应性，同时不易引起牙体纵折。优点为操作简单，缺点为有超充的可能、再治疗时取出相对困难。

6. 负压法根管充填技术　是非器械预备根管治疗（non-instrumentation technology，NIT）的内容之一，NIT技术分为根管预备和根管充填两部分。Lussi等1993年报道了利用真空原理完成根管清洗预备，其主要是利用真空装置产生变异压力，压力降低至–0.7bar时（1bar=1标准大气压），冲洗液产生不同大小气泡，压力上升至–0.1bar时，气泡破裂，流速增加，冲洗液渗入到根管分支并不断交换、更新，同时去除残髓组织。根管不进行机械预备，不产生玷污层，通过化学预备而彻底、有效地清洁根管。常采用2%～5.25%浓度的次氯酸钠作为冲洗液。由于采用NIT技术预备的根管未扩大至标准化且形态不规则，无法采用常规方法充填，Portmann等1994年提出了与NIT预备相适应的NIT根管充填方法。

NIT负压充填的基本方法将连接管插入髓腔，用印模材料或复合树脂粘接系统封闭连接处，建立封闭的髓腔系统，并形成与真空泵的封闭连接。抽取真空使髓腔内部形成负压，并干燥根管内残留水分。同时，根充糊剂进行真空振荡处理5分钟以排除气泡，糊剂放入蓄池中待用，钢球置于糊剂的顶端，其目的是避免空气吸入。当压力降至15mbar（1mbar=1hPa）以下并且压力稳定后，打开连接糊剂的阀门，糊剂输入管的直径大于真空抽吸管的直径，利用负压将根充糊剂顺利吸入根管系统中，当糊剂充盈至真空泵开口处时，停止抽吸。可配合使用牙胶尖，共同严密封闭根管。

负压法根管充填是一种新的治疗方法，现仍处于研究阶段，相关研究不够完善，缺乏远期临床观察。其能否被推广应用取决于较多因素，如装置设备和临床操作的方便与否、根管封闭性能的优劣、远期效果、治疗的费用以及患者的接受程度等。

四、根管充填技术中的问题与对策

（一）侧方加压法中的问题与对策

1. 适应证选择时应注意几种特殊情况　①弯曲根管：事实上，大部分根管都有一定程度的弯曲，侧压法对大多数弯曲根管的充填是适合的，但对于充填严重弯曲和分叉根管有很大困难，侧压器难以进入形成有效的侧压，采用热牙胶垂直加压技术更为可行、有效。②根尖孔未闭合或破坏：对于根尖孔未闭合的病例应进行根尖诱导成形，采用$Ca(OH)_2$或MTA充入根管根尖1/3；如果进行根充，应选择和修

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

剪大号主牙胶尖，以适应根尖区的形态，采用热牙胶垂直加压技术。对于根尖区外吸收、根尖孔破坏、根尖孔预备过度、根尖孔敞开、多根尖孔和根侧病变的病例最好采用热牙胶垂直加压技术。③ C 型根管：多发生于下颌第二磨牙，变异很大，有很多不规则的交通支，首选热牙胶垂直加压技术。

2. 主牙胶尖不能达到工作长度　主要原因为牙本质碎屑堵塞根尖区，台阶形成，根管锥度不足或连续性差，人造根管形成或弯曲根管变直，WL 丧失，牙胶尖过大或锥度不标准等。处理方法：诊断丝照相确定问题所在，再次用主锉预备根管达根尖区，并大量冲洗。根管重新干燥后，应再次用主牙胶尖确定。

3. 主牙胶尖无紧缩感　可能的原因有主牙胶尖过小，锥度不良，根管预备锥度不连续，根尖孔移位和变形，根管内牙本质碎屑残留等。处理方法：采用不同的方法改变主牙胶尖尖部的锥度，如使用牙胶尖尺，将过细的牙胶尖每次切去 0.5～1mm，化学方法或加热方法。但是根尖区预备到 25#～40#，一般紧缩感不明显，主锉在 40# 以上时紧缩感才较明显。因此，主牙胶尖有无紧缩感不是根充的必要条件。

4. 根尖区根充物不致密　原因为根尖区欠通畅或锥度不充分，侧压器不能达到根尖部；副牙胶尖未蘸根充糊剂，或长度不够，达不到侧压器所到达的深度，或根尖部过度弯曲；侧压器过大；根充糊剂过多；根尖区过多牙本质碎屑堆积。根据不同原因，采用相应的处理方法。

5. 侧压器不能达到根尖区　原因有根管的形态和锥度不足，侧压器过大，侧压器未适当预弯等。在根充之前一定要预先试插侧压器，确保能自如进入根管比 WL 短 1～2mm，并有足够的侧压空间。

6. 侧压器带出牙胶尖　原因是糊剂太多，根管干燥不良，主尖过小，根管壁不规则，侧压器进入根管前未擦净糊剂，侧压器过度弯曲变形，在弯曲根管中过度旋转侧压器，在拔出之前侧压器未充分松懈等。

7. 副牙胶尖不能进入　原因为副尖过大或锥度不良，侧压器太小或侧方压力过小不能形成足够的间隙，根管预备锥度不足，侧压过程中主牙胶尖移位，副尖尖端卷曲变形，根充糊剂开始变硬等。

（二）垂直加压技术的问题与对策

1. 超充　垂直加压技术应用不当，有超充的可能。应注意选择合适的主牙胶尖；垂直加压器不应与根管壁接触；每次加压时间为 5～10 秒；压力恒定在能使软化的牙胶产生形变为宜。

2. 根纵裂　由于垂直加压技术根管预备较多，如果垂直加压器选择不当或用力过大，可能会造成根纵裂。然而，研究表明，垂直加压法和侧压法均对根管壁产生应力作用，只要方法正确，产生根纵裂的可能性很小。

3. 温度　温度过高可造成牙周组织损伤，因此加热器的温度不宜过高，设置在 200℃（System B 系统），加热时间 2～3 秒是安全的。Touch n'Heat 不能显示准确的温度，一般设置在 6 挡以下。此时，牙胶的温度升高 5～8℃，为 42～45℃的 β 相晶体，适用于垂直加压，又不造成组织损伤。

4. 复杂性　根管预备要求较高，需要特殊的加热设备，使用的器械较多，操作复杂，需要使用橡皮障并具备四手操作条件等。因此，国内应用不多。

五、根管充填失败的原因分析

1. 根尖封闭不良　根管预备和成形并不能完全去除根尖区的细菌、组织碎屑和其他有害成分，需要根尖区的严密封闭阻止其进入根尖周组织。如果根尖区存在间隙，根尖周的组织液和根尖区的细菌、组织碎屑和其他有害成分相互影响，会造成根尖周的炎症。

2. 冠部封闭不良　一旦根充物与唾液接触，会造成根充糊剂的溶解，细菌、细菌毒素和其他化学物质会渗入根管系统，可能引起根管治疗的失败。

3. 根中部封闭不良　根中部封闭的重要性不如冠部和根尖部重要。由于根管侧支的存在，根中部封闭不良也可能造成根管治疗的失败。但侧副管的充填不是影响根管治疗预后的关键因素。

4. 根充长度不当　超充和欠充均会影响根管治疗的预后，欠充应该重做根充；超充应给予处理术后

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

反应的医嘱、药物或理疗。大多数情况下，超充不主张重做根充。因为重做根充并不能够取出超充的材料，反而增加了手术操作对根尖周组织的刺激。根充物应最好限制在根管系统以内。

5. 根纵裂　根管治疗或桩冠修复的牙齿，如果存在反复肿胀和 X 线上的骨吸收，又找不到其他原因时，应考虑根纵裂的可能。只有少数根纵裂有典型的 X 线表现。

附典型病例

病例一：

这一组所有的牙齿都是下颌第一磨牙。38 年前笔者做的第 1 例根管治疗是一个有 4 个根管的下颌第一磨牙，现在这颗牙仍然在患者口里保留着。这个病例最有意思的是，最初以为这个牙齿只有 3 个根管，直到笔者完成其他 3 个根管的治疗后才意识到可能有 4 个根管。近中两个根管都很简单，远中根（实际上是远中颊根）非常直。当做完其他 3 个根管时，笔者注意到一些充填物似乎漏到远中舌侧去了。然后笔者拍了一张 X 线片，令人吃惊的是笔者把侧向加压器插到另外一个舌侧根管去了 [图 12–17（A）]。

该组的第二个牙齿做起来就简单多了，因为笔者有以前治疗类似牙齿的经验，远中根有 2 个独立的根管。这个患者虽然没有回来做 3 个月后的复诊，不过笔者相信这个病例是成功的 [图 12–17（B）]。

第三个牙齿的治疗做了很长时间了，患者回来做了上颌牙齿 6 个月的复查，当笔者拍这张片子的时候仍然记得以前的治疗过程，对这个结果笔者很满意。当时笔者知道，使用各种办法把牙胶尽可能充填到根尖部是不明智的，25 年后治疗的牙齿情况仍很出色，它的近中和远中根管分别欠充 2mm 和 1mm[图 12–17（C）]。

第四个牙齿是个条件非常差的牙齿需要做根管治疗，根管里充填的是银尖，而且欠充。我把远中根管里的银尖去除，为后续的治疗腾出空间。近中根非常复杂，无法把根管里的银尖完全去除。因此，笔者用牙胶尖混合一些糊剂，尽量做到最佳的充填效果。这张片子拍摄于 1 年后，疗效非常出色 [图 12–17（D）]。

这个患者找到笔者，重新治疗以前做失败的牙齿。以前的医师用了两根牙胶，一个根管充填了一根，近中根有些部位有病变。笔者又找到了另外两个根管，并且用牙胶尖充填 [图 12–17（E）、（F）]。尽管笔者把最后治疗完成的那张片子弄丢了，不过笔者依旧认为这个病例做得非常出色。



（A）

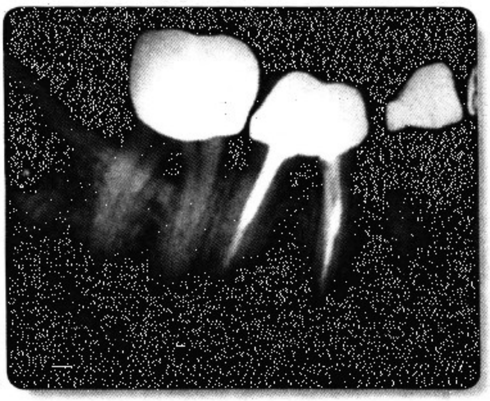


（B）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



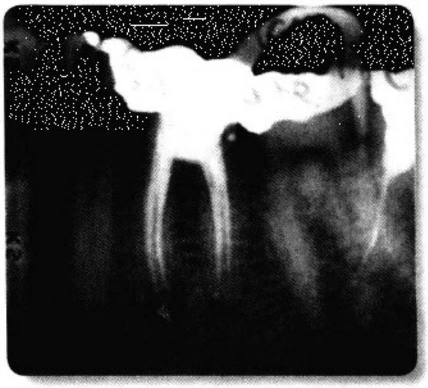
（C）



（D）



（E）



（F）

图 12–17

病例二：

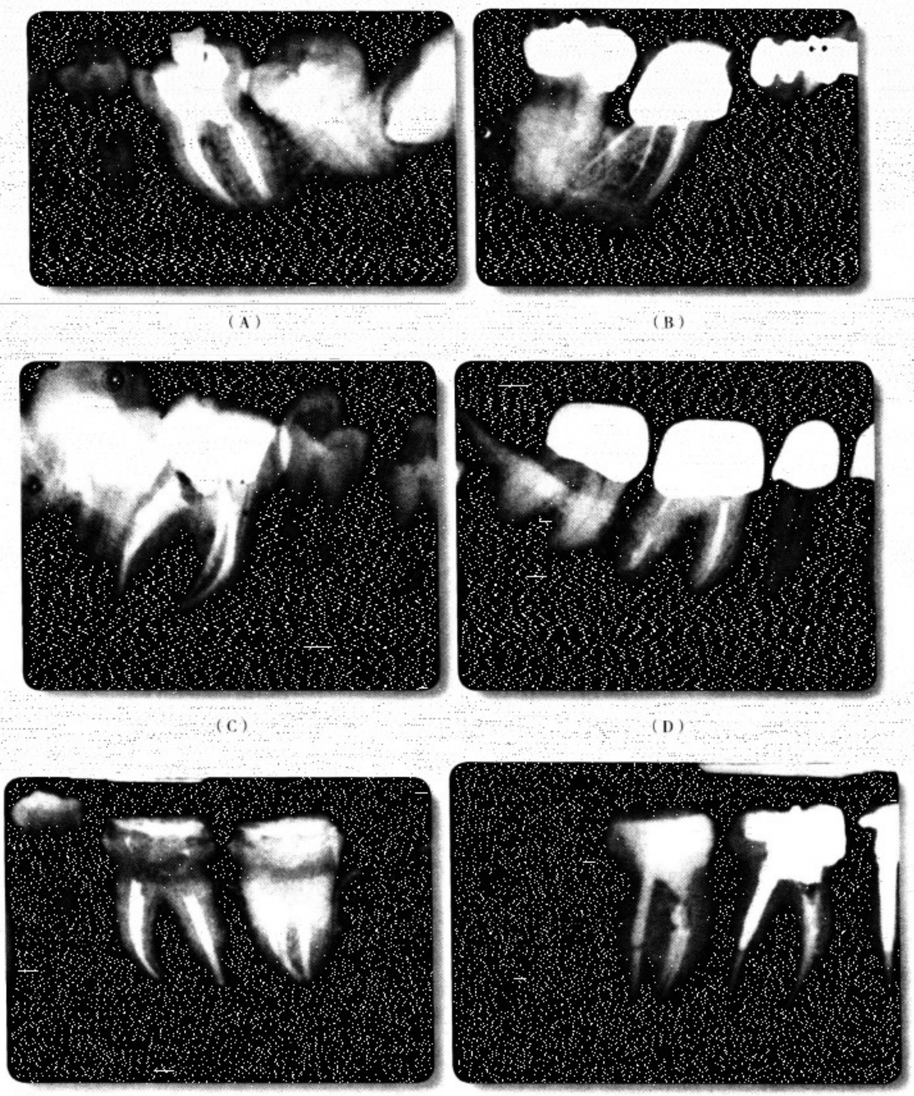
这组病例非常有趣，也许看起来很简单，但是事实却恰恰相反。第一个磨牙根管很粗大，看起来治疗没有难度。然而近中两个根管在靠近根尖的地方融合成一个，远中根管弯曲度很大，需要术者仔细操作，以保证能达到根尖处［图 12–18（A）］。

第二个牙齿的问题在于远中根管很细，有比较严重的弯曲。近中根管很可能融合了［图 12–18（B）］。第三个牙齿有趣的地方在于同侧两个根管之间距离很近，看上去似乎融合了［图 12–18（C）］，不过除非从多个角度拍摄 X 线片，否则不能确定。

第四个牙齿的复杂性在于远中根管的下半部分。根管已经预备，不过靠近根尖部的根管宽度反而比根管上段要宽一些，而且在根尖部存在根管侧支［图 12–18（D）］。

笔者把第五和第六个牙齿编为一组，在笔者看来这些牙齿有着相似的结构，尤其是第二磨牙，C 型根管多见于下颌第二磨牙，而不是第一磨牙［图 12–18（E）、（F）］。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



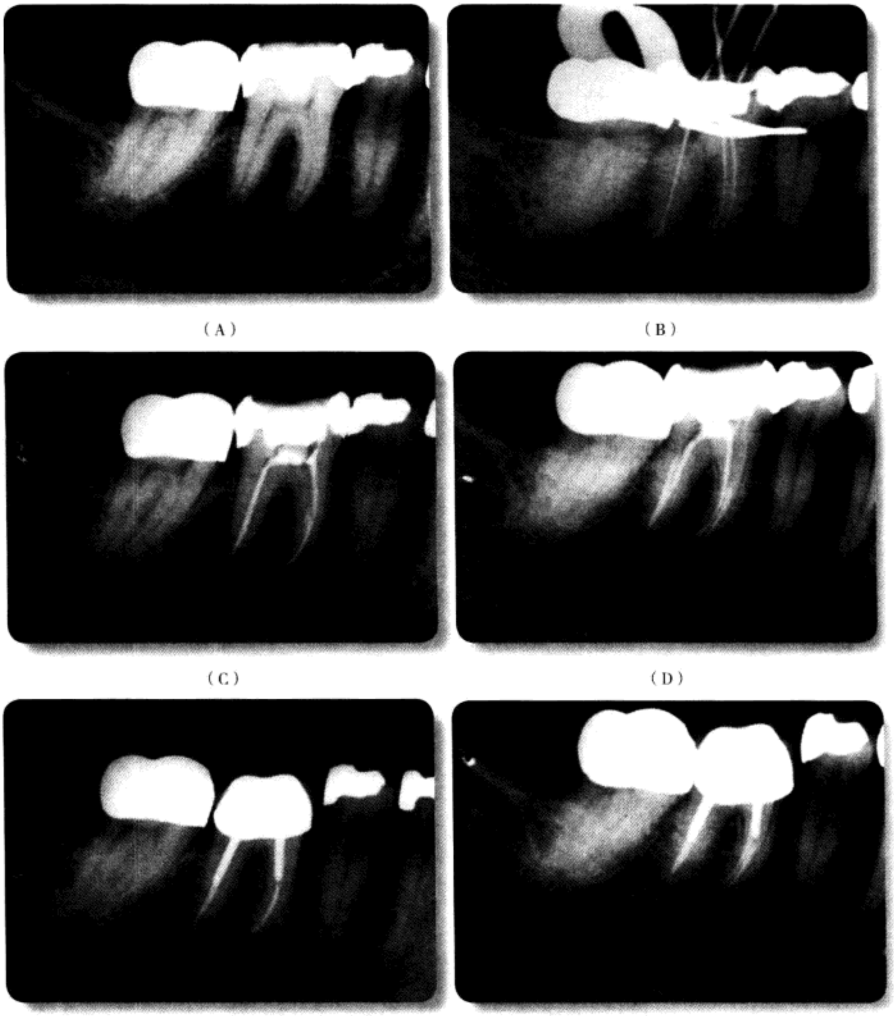
（A）　（B）　（C）　（D）　（E）　（F）

图 12-18

病例三：

这个病例已经是很久以前的了，现在若要笔者重新做一遍的话，笔者将会拍摄更多的 X 线片，尤其是前面两张。患者是个中年男子，他还有其他几颗牙齿也需要做根管治疗。第一张片子为正位拍摄［图 12-19（A）］，可以看出充填物已经非常接近近中髓角。开髓后，并拍摄一张偏角度的 X 线片，显示根管锉的位置正好［图 12-19（B）］。第三张片子为根充后正位拍摄［图 12-19（C）］，第四张为偏角度拍摄［图 12-19（D）］。第五张和第六张牙片拍摄于 1 年后，一切看起来都很好［图 12-19（E）、（F）］。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）（B）（C）（D）（E）（F）

图 12–19

病例四：

很多年以来，人们都认为上颌第一磨牙只有 3 个根管。谁要是认为这颗牙齿有不止 3 个根管的话，他将被人们笑话。到了 1969 年，Weine、Healey 和 Gerstein 首先在《口腔外科学》杂志上发表文章称上颌第一磨牙有 4 个根管的情况。起初人们以为这种情况非常少见，不过随后 Weine 在《概要》上发表的一篇文章详细说明了第四根管出现的几率很高。

这个"新"根管一般在近中颊根被发现，因此，医师在治疗这颗牙齿的时候需要认真地确认近中颊根到底是 1 个根管还是 2 个根管。因为这个"新"根管，开髓也需要有点变化。近中舌侧根管通常被发现位于近颊根管舌侧几毫米的地方。

一段时间以后，人们注意到，典型的正位拍片方法需要改变，由于需要聚焦在牙齿的近中部，正位片就显得效果不好了，并且球管应该自远中偏向近中。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

笔者拍摄了正位片和远中偏移片（图 12-20）。

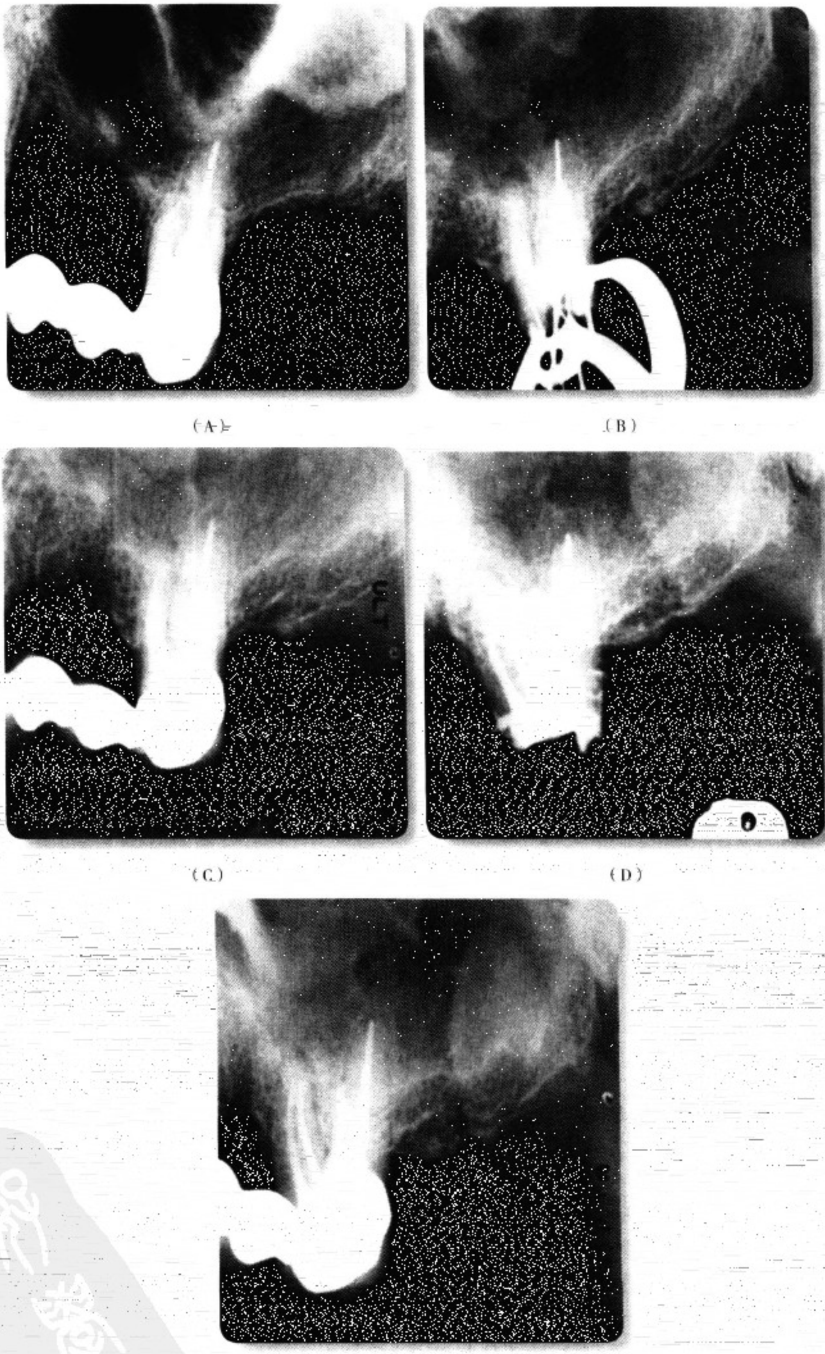


图 12-20　上颌第一磨牙根充后的 X 线片

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

图 12-20（A）这个磨牙用的是正位拍摄的牙片，然而在没有看见成角度偏移 X 线片的时候，可能存在的第四根管就被忽略了，而且也只能靠猜测来判断牙根的数目。

图 12-20（B）在这个角度拍摄的牙片显示近中根里面有两根扩管锉，然而没有成角度偏移 X 线片的话就不能看出近中颊根里面的锉距离正确的位置有多远。

图 12-20（C）这张牙片模糊的显示近中颊根管或者近中颊第二根管根充填到达需要的长度，因为充填后根尖部重叠的影像导致判断困难。

图 12-20（D）牙片拍摄角度非常好，而且根尖部充填恰到好处。

图 12-20（E）出色的修复治疗完成后的 X 线片显示根充情况良好。

病例五：

图 12-21（A）笔者在归纳对上颌磨牙的研究时发现了一些有趣的前磨牙。第一张片子上两者都有。第一前磨牙有 3 个根管，这种情况治疗非常困难。第二前磨牙也做了治疗，不过比第一前磨牙简单多了。磨牙也做了完善的治疗，这三颗牙齿做完治疗已经超过 7 年，还会保持更长时间。

图 12-21（B）第二张片子显示的也是三颗做过治疗的牙齿，已经过了 5 年，仍然保持得很好。

图 12-21（C）第三个牙齿非常有趣，做治疗的牙齿是第二前磨牙，很多迹象显示这个牙齿有两个独立的根管可以被充填，还有一个根管侧支。

图 12-21（D）谈到根管侧支，这个第一前磨牙上有 3 个大的根管侧支。注意根中部的侧支根管几乎直接开口在近中方向。

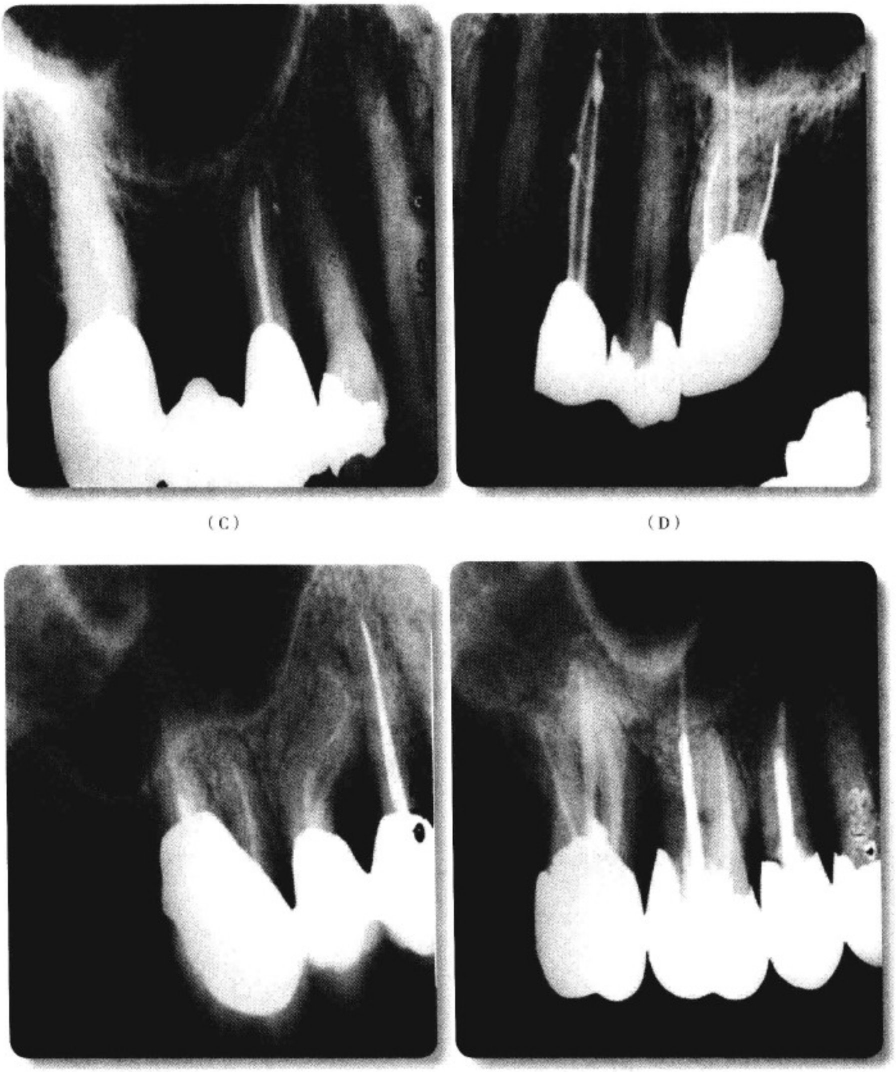
图 12-21（E）这是一个很有意思的病例，笔者把它放在这里是因为这 3 个牙齿用的是不同的治疗方法。第一前磨牙用的是银尖充填，已经三十多年了，第二颗治疗的是这一侧唯一的磨牙，使用的是侧压充填技术。笔者曾经提醒过患者，第二前磨牙的治疗非常困难，因为牙根非常弯曲，患者不会知道这颗牙在几年后可以用热牙胶充填法来治疗。这三颗牙齿一直保留在患者口中直到现在。

图 12-21（F）牙片上有三颗牙齿，但是只有 6 个根管而不是 8 个或者 9 个！答案是第一磨牙的远中颊根因为牙周的问题被去掉了。



（A）　　　　　　　　（B）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（C）　（D）

（E）　（F）

图 12–21

病例六：

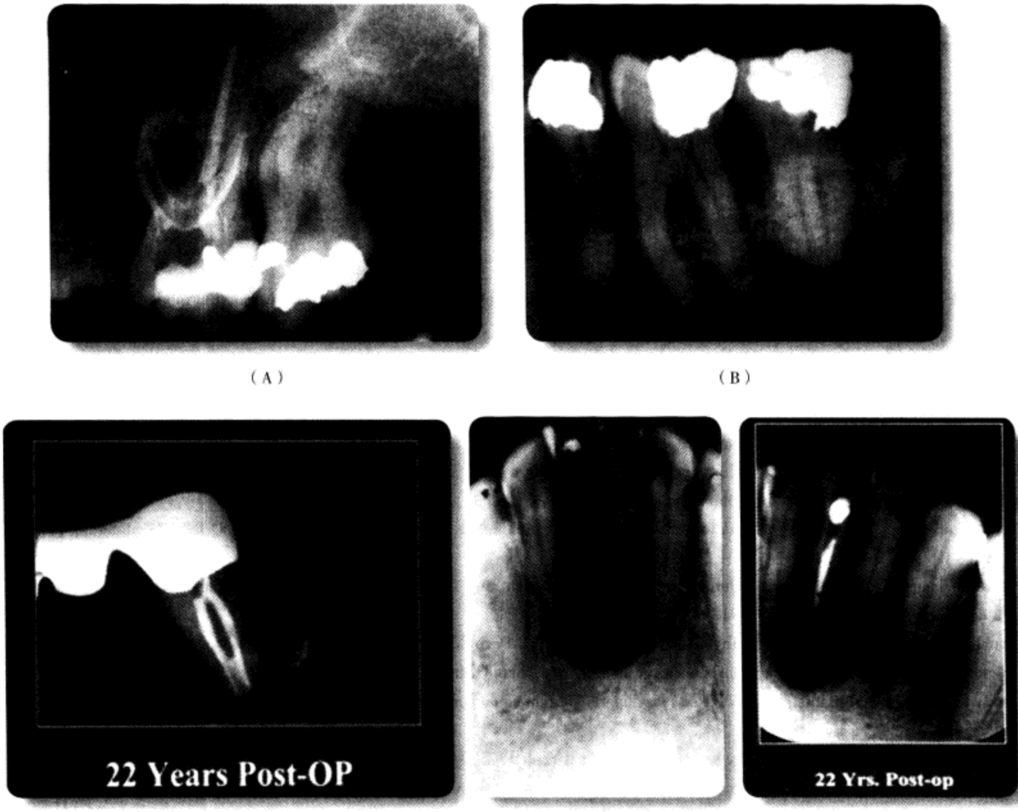
这里还有几个有趣的病例：

图 12–22（A）这个牙齿牙根的弯曲度是我治疗过的患牙中最大的。笔者没能跟踪这个患者，因为他去日本后就没办法拍以后的片子了。

图 12–22（B）第二磨牙根尖部有大片病变组织，第一磨牙根分叉部也可见病变，第二磨牙需要做治疗，第一磨牙则不需要。22 年后的片子显示第二磨牙的治疗很出色［图 12–22（C）］。

图 12–22（D）、（E）最后一个病例让很多朋友笑话笔者，他们说这个牙齿不能保留了，可以看到，根尖的病变范围很大。22 年过去了，它看起来很好。

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注



（A）　（B）

（C）　（D）　（E）

图 12–22

（Siqing Tang　Frank Weine　Charles Lee　James Dryden）

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

参考文献

1. Brudvik P, Pygh P. Transition and Determinants of Orthodontic root resorption–repair sequence. Eur J Orthod, 1995, 17: 177–188.
2. Segal G, Schiffman P, Tuncay O. Meta analysis of the treatment–related factors of external apical root resorption. Orthod Cranio–fac Res, 2004, 7: 71–78.
3. Casa MA, Faltin RM, Faltin K, et al. Root resorptions in upper first premolars after application of continuous torque moment. Intra–individual study. J Orofac Orthop, 2001, 62: 285–295.
4. Chan E, Darendeliler MA. Physical properties of root cementum: part 7. Extent of root resorption under areas of compression and tension. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 2006, 129: 504–510.
5. Costopoulos G, NandaR. An evaluation of root resorption incident to orthodontic intrusion. Am J Orthod Dentofacial Orthop, 1996, 109: 543–548.
6. Guangli Hana, Shengfu Huanga, Johannes W. Root Resorption after Orthodontic Intrusion and Extrusion: And Intraindividual Study. Angle Orthod, 2005, 75: 912–918.
7. Ansgar Hohmanna, Uwe Wolframb, Martin Geigera, et al. Periodontal Ligament Hydrostatic Pressure with Areas of Root Resorption after Application of a Continuous Torque Moment. Angle Orthod, 2007, 77: 653–659.
8. Nagy CD, Szabo J. A mathematically based classification of root canal curvatures on natural human teeth. J Endod, 1995, 21(11): 557–560.
9. Low D, Chan Aw. Unusual maxillary lateral incisors. Aust Endod, 2004, 30 (1): 15–19.
10. Chaparro AJ, Segura JJ, Guerrero E, et al. Number of roots and canals in maxillary first premolars: study of an Andalusian population. Endod Dent Traumatol, 1999, 15 (2): 65–67.
11. P é cora JD, Saquy PC, Sousa Neto MD, et al. Root form and canal anatomy of maxillary first premolars. Braz Dent J, 1992, 12 (2): 87–94.
12. Vertucci FJ. Root canal anatomy of human permanent teeth.Oral Surg, 1984, 58 (5): 589–599.
13. Kartal N, Ozcelik B, Cimilli H, et al. Root canal morphology of maxillary premolars. J Endodon, 1998, 24 (6): 417–419.
14. Lussi A, Nussbacher U, Grosrey J. A novel non–instrumented technique for cleaning the root canal system. J Endod, 1993, 19 (11): 549.
15. Portmann P, Lussi A. A comparison between a new vacuum obturation technique and lateral condensation: an in vitro study. J Endod, 1994, 20 (6): 292.
16. Lin LM, Skribner JE, Gaengler P. Factors associated with endodontic treatment failures. J Endodontics, 1992, 18 (12): 625.
17. Van Niewwenhuysen JP. Aouar M, D' hoore W. Retreatment or radiographic monitoring in endodontics. Int Endodontics J, 1994, 27: 75.
18. Johnson WB. A new gutta–percha technique. J Endod, 1978, 4 (6): 184.
19. Oi T, Saka H, Ide Y. Three–dimensional observation of pulp cavities in the maxillary first premolar tooth using micro–CT. International Endodontic Journal, 2004, 37: 46–51.
20. Sert S, Aslanlp V, Tanalp J. Investigation of the root canal configurations of mandibular permanent teeth in the Turkish population. International Endodontic Journal, 2004, 37: 494–499.
21. Bodo Kress MD, Yvonne Buhl, Stefan Hahnel, et al. Age–and tooth–related pulp cavity signal intensity changes in healthy teeth: a comparative magnetic resonance imaging analysis. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod, 2007, 103: 134–137.
22. Frank J, Vertucci. Root canal morphology and its relationship to endodontic procedures. Endodontic topics, 2005, 10: 3–29.
23. Van Wijk AJ, Tan SPK. A numeric code for identifying patterns of human tooth agenesis: a new approach.European Journal of

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

Oral Science，2006，114：97–101.
24. Mannocci F，Peru M，Sherriff M，et al. The isthmuses of the mesial root of mandibular molars：a micro-computed tomographic study. International Endodontic Journal，2005，38：558–563.
25. Y-L Ng，Aung TH，Alavi A，et al. Root and canal morphology of Burmese maxillary molars. International Endodontic Journal，2001，34：620–630.
26. Helen D，Rodd，Fiona M Boissonade. Immunocytochemical investigation of neurovascular relationships in human tooth pulp. J Anat，2003，202：195–203.
27. Peiris，Pitakotuwage TN，Takahashi M，et al. Root canal morphology of mandibular permanent molars at different ages. International Endodontic Journal，2008，41：828–835.
28. Young hee Hwang DDS，Kyung san Min DDS MS. Clinical Management of 3 Mandibular Incisors with 2 Separate Canals and Foramina：Case Report. J Can Dent Assoc，2005，71（6）：388–389.
29. Ahmed，Abu-bakr NH，Yahia NA，et al. Root and canal morphology of permanent mandibular molars in a Sudanese population. International Endodontic Journal，2007，40：766–771.
30. Al-Qudah，Awawdeh LA. Root canal morphology of mandibular incisors in a Jordanian Population. International Endodontic Journal，2006，39：873–877.
31. Teixeira，Sano，Gomes，et al. A preliminary in vitro study of the incidence and position of the root canal isthmus in maxillary and mandibular first molars. International Endodontic Journal，2003，36：276–280.
32. HamidJafarzadeh，Maryam Javidi，Mina Zarei. Endodontic retreatment of a maxillary second molar with three separate buccal roots. Aust Endod J，2006，32：129–132.
33. Moor. C-shaped root canal configuration in maxillary first molars. International Endodontic Journal，2002，35：200–208.
34. Marina L，Fernando Ramirez rozzi. Developmental connections between cranial components and the emergence of the first permanent molar in humans. J Anat，2007，210：406–417.
35. Bijerndal L，Carlsen O，Thuesen G，et al. External and internal macromorphology in 3D-reconstructed maxillary molars using computerized X-ray microtomography. International Endodontic Journal，1999，32：3–9.
36. Ameen Khraisat，Leena Smadi，MDentsci. Canal configuration in the mesio-buccal root of maxillary first molar teeth of a Jordanian population. Aust Endod J，2007，33：13–17.
37. Almeida-Gomes，Claudio Maniglia-Ferreira，Roberto Alves dos Santos. Two Palatal root canals in a maxillary second molar. Aust Endod J，2007，33：82–83.
38. Rwenyonyi，Kutesa AM，Muwazi LM，et al. Root and canal morphology of maxillary first and second permanent molar teeth in a Ugandan population. International Endodontic Journal，2007，40：679–683.
39. Sigrid I，Kristin M，Thomsen，et al. Age estimation of adults from dental radiographs. Forensic Science International，1995，74：175–185.
40. Naser A，Ramin MZ，Esrafil B. Study of root canal accessibility in human primary molars. Journal of Oral Science，2008，50（1）：69–74.
41. Sert S，Aslanalp V，Tanalp J. Investigation of the root canal configurations of mandibular permanent teeth in the Turkish population. International Endodontic Journal，2004，37：494–499.
42. Avery JK. Structural elements of the young and normal human pulp. Oral Surg，1971，32：113.
43. Zach L，Topal R，Cohen G. Pulpal repair following operative procedure：radioautographic demonstration with tritiated thymidine. Oral Surg，1969，28：587.
44. Weinstock M，Leblond CP. Synthesis，migration and release of precursor collagen odontoblasts as visualized by radioautography after 3H-proline administration. J Cell Biol，1974，60：92.
45. Torneck CD. Intracellular destruction of collagen in the human dental pulp. Arch Oral Biol，1978，23：745.
46. Watts A，Paterson RC. Migration of materials and microorganisms in the dental pulp of dogs and rats. JOE，1982，8：53.
47. Jontell M，Bergenholtz G，Scheynius A，Ambrose W. Dendritic cells and macrophages expressing class Ⅱ antigens in the normal rat incisor pulp. J Dent Res，1988，67：1263.
48. Kogushi M，Nakamura S，Kishi Y，et al. A study of leukocyte extravasation in early inflammatory changes in the pulp. JOE，1988，14：475.
49. Miller GS，Sternberg RN，Pilrero SJ，Rosenberg PA. Histologic identification of mast cells in human dental pulp. Oral Surg，1978，46：559.
50. Zachrisson BU. Mast cells in human dental pulp. Arch Oral Biol，1971，16：555

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

51. Weinstock M, Leblond CP. Radioautographic visualization of a phosphoprotein at the mineralization front in the rat incisor. J Cell Biol, 1973, 56: 838.
52. Alexander SA, Swerdloff M, Caputo L. Dental pulp mucopolysaccharidase: identification and role in tooth resorption. J. Dent Res, 1980, 59: 1404.
53. Byers MR. Terminal aborization of individual sensory axons in dentin and pulp of rat molars. Brain Res, 1985, 345: 181.
54. Cohen S, Hargreaves KM. Pathways of the pulp. Ninth edition, 2006.
55. Weine F. Endodontic therapy. sixth edition.Mosby, 2006.
56. 皮昕 . 口腔解剖学图谱 . 武汉：湖北科学技术出版社，2002.
57. 彭彬 . 根管治疗图谱 . 北京：人民卫生出版社，2010.
58. 皮昕 . 口腔解剖生理学 . 北京：人民卫生出版社，2004.
59. 于世凤 . 口腔组织病理学 . 北京：人民卫生出版社，2002.
60. 于世凤，高岩 . 口腔组织病理学 . 北京：北京大学医学出版社，2005.
61. 李银生，孙晓芳，千新来 . 口腔组织病理学 . 世界图书出版西安公司，2009.
62. 凌均棨 . 牙髓病学 . 北京：人民卫生出版社，1998.
63. 樊明文 . 口腔生物学 . 北京：人民卫生出版社，2004.
64. 郑麟蕃，胡郁斌，吴奇光，等 . 口腔医学的科学基础 . 北京：人民卫生出版社，1984.
65. 戎诚兴 . 生物科学基础 – 口腔医学基础理论 . 长沙：湖南教育出版社，1993.
66. 刘忠祥，邓辉 . 近代根管治疗学 . 辽宁：科学技术出版社，1992.
67. 黄瀛 . 中国人解剖学数字 . 北京：人民卫生出版社，2002.
68. 王嘉德，高学军 . 牙体牙髓病学 . 北京：北京大学医学出版社，2006.
69. 樊明文，边专，陈智 . 龋病牙髓病研究 . 武汉：湖北科技出版社，2004.
70. 彭彬，凌均棨 . 牙髓病学 . 北京：人民卫生出版社，2010.
71. 葛久禹 . 根管治疗学 . 南京：江苏科学技术出版社，2008.
72. 綦童，赵守亮，唐荣银，等 . 回族和蒙古族成人前牙牙根弯曲情况比较研究 . 北京口腔医学，2009，17（3）：152–154.
73. 刘芳，王淑芳，赵守亮 . 壮族人群恒前牙根管弯曲度测定 . 华西口腔医学杂志，2009，27（5）：505–508.
74. 张文，彭彬，陈智，等 . 487 颗下颌前牙根管的弯曲情况研究 . 口腔医学研究，2005，21（1）：47–49.
75. 程晓莉，翁雨来 . 422 颗上颌第一前磨牙牙根及根管解剖形态的观察 . 上海口腔医学，2008，17（5）：525–528.
76. 汪平，王宇，杨亚宁，等 . 离体上颌第二前磨牙根管和牙根情况的研究 . 现代口腔医学杂志，2004，18（6）：562–563.
77. 苏寒，阎翔，王文梅，等 . 上颌第一恒磨牙根管弯曲度初探 . 口腔医学研究，2005，21（3）：302–305.
78. 吴俊，樊明文，范兵，等 . 下颌第一磨牙近中根根管形态的研究 . 口腔医学研究，2010，26（5）：747–749.
79. 夏天娟，陈建钢 . 下颌第三磨牙的根管形态观察 . 武汉大学学报（医学版），2007，28（6）：744–746.
80. 程志刚，赵燕艳 . 下颌第二磨牙根形态与根管形态的研究 . 口腔医学研究，2010，26（3）：421–423.
81. 张成飞，赵宝红，林琼光，等 . 不同根管预备方法对根尖孔溢出碎屑和液体的影响 . 现代口腔医学杂志，2003，17（3）：224–226.
82. 张成飞，王嘉德 . 第二讲 根管预备的方法、问题与对策 . 中华口腔医学杂志，2004，39（4）：162.
83. 张成飞，王嘉德 . 第三讲 根管充填的方法、问题与对策 . 中华口腔医学杂志，2004，39（3）：254–267.
84. 范蓉，张成飞 . 负压法根管充填技术的研究进展 . 北京口腔医学，2004，12（4）：235–238.
85. 石校伟，王照五，刘荣森，等 . 上颌第二磨牙牙根根管数目的 CBCT 影像学观察 . 中华老年口腔医学杂志，2010，8（4）：231–234.
86. 史俊南，赵皿，蔡绍惠 . 1400 个恒牙根尖解剖的初步研究 . 中华口腔科杂志，1964，10（5）：320– 323.
87. 梁宇红，岳林 . 根管预备系列讲座（一）——根管预备的目标和器械操作手法 . 中国口腔医学继续教育杂志，2010，13（1）：52–56.
88. 顾永春，周培刚，刘淑香，等 . 根管弯曲度测量法的几何原理剖析 . 牙体牙髓牙周病学杂志，2006，16（8）：449–453.
89. 史俊南 . 关于根管解剖的命名问题 . 牙体牙髓牙周病学杂志，2005，15（1）：46.
90. 皮昕，李春芳，顾永春 . 根管系统各部命名之管见 . 口腔医学纵横杂志，1996，12（3）：144–145.
91. 顾永春，皮昕 .3803 个恒牙根管的解剖形态研究 . 临床口腔医学杂志，2003，19（5）：276–278.
92. 秦燕军，皮昕 . 上颌第一前磨牙髓腔壁扫描电镜观察及其临床意义 . 临床口腔医学杂志，1999，15（1）：3–6.
93. 宋少杰，皮昕 . 山东籍正常成人颜面中份软组织测量研究 . 实用口腔医学杂志，1999，15（6）：444–446.
94. 潘莉，章润贞，李颂 .13 ~ 23 岁下颌第二前磨牙单根管锥度的初步研究 . 华西口腔医学杂志，2010，28（2）：162–165.

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

95. 王欣，李国菊．根尖片用于确定根尖孔位置能力的研究．口腔医学纵横杂志，2000，16（1）：70.
96. 张翠贤，郭敬俊，王宇．磨牙髓腔解剖研究及其临床意义．牙体牙髓牙周病学杂志，1994，4（2）：78-80.
97. 张翠贤，王宇，袁渝萍．再论磨牙髓腔解剖研究及临床意义．牙体牙髓牙周病学杂志，1997，7（1）：32-34.
98. 古丽莎，凌均棨．根管系统内管间峡区的研究进展．国际口腔医学杂志，2007，34（2）：107-109.
99. 瑞士波恩．根周外科中用内腔镜检查第一磨牙根管峡的频率与类型．国际口腔牙髓学杂志，2005，38：160-168.
100. 皮昕，李秋华，杜昌连，等．恒牙根尖侧孔形态的显微解剖研究．中华口腔医学杂志，2000，35（3）：218-220.
101. 李颖，周梦宇，牛卫东．不同脱钙条件对透明牙体样本制作影响的实验研究．华西口腔医学杂志，2009，27（1）：13-19.
102. 刘虹，李奉华，谢晓莉．副根管对根管长度电测法准确性影响的临床研究．临床口腔医学杂志，2002，18（5）：354-355.
103. 王满恩．牙髓炎时疼痛特性及其临床意义．口腔医学纵横杂志，1996，12（2）：114-115.
104. 黄建华，郭新程，陈良健，等．套管针吸引和常规根管清洗根尖孔碎屑挤出量比较．华西口腔医学杂志，1998，16（3）：282.
105. 陶波，范伟，范兵．根尖孔直径对 Root ZX 和 Neosono Ultima EZ 测量准确性的影响．临床口腔医学杂志，2005，21（9）：526-527.
106. 张富华，黄定明，谭红，等．根管预备不同器械对根管充填根尖孔封闭性的影响．四川医学，2005，26（7）：715-716.
107. 陶波，范伟，范兵．Root ZX 测量准确性与根尖孔直径关系的实验研究．临床口腔医学杂志，2004，20（12）：736-737.
108. 白莲，王贤辐 .MPV-03 材料对喇叭口状根尖孔密封性能的研究．广东牙病防治，1996，4（3）：3-4.
109. 张成飞，赵宝红，林琼光，等．不同根管预备方法对根尖孔溢出碎屑和液体的影响．现代口腔医学杂志，2003，17（3）：224-226.
110. 张光诚．磨牙髓腔预备的方法．临床口腔医学杂志，1989，5（2）：122-123.
111. 张光诚．磨牙髓腔预备的方法（续）．临床口腔医学杂志，1989，5（3）：182-183.
112. 黄炜，夏登胜，顾锡荣 .106 例老年人后牙牙髓炎的治疗疗效．牙体牙髓牙周病学杂志，1998，8（3）：211.
113. 宋黔英，杨文龙．根管治疗术与桩冠．牙体牙髓牙周病学杂志，1999，9（3）：240.
114. 李启华，吴国锋 .72 个牙尖外科治疗的临床探讨．牙体牙髓牙周病学杂志，2001，11（2）：120.
115. 张菊菊，段银钟，霍娜 .3 种不同施力方式远移上颌第一磨牙牙周膜应力的三维有限元分析．口腔医学研究，2006，22（2）：166-168.
116. 李传义，薛友清．牙周牙髓病的髓腔与牙周袋内细菌相关性研究．牙体牙髓牙周病学杂志，1996，6（3）：150-152.
117. 杜昌连，江茂霞．切牙髓腔大小与年龄的相关研究．牙体牙髓牙周病学杂志，1996，6（1）：20-22.
118. 江茂霞，杜昌连．切牙髓腔近远中径的测定．口腔医学纵横杂志，1994，10（4）：228-229.
119. 刘成霞，李文，郑庆华．人下颌恒切牙管间峡区解剖的显微 CT 研究．华西口腔医学杂志，2010，28（2）：177-180.
120. 黄定明，罗红霞，柳茜，等．中国人下颌恒切牙根管弯曲的解剖学研究．华西口腔医学杂志，24（3）：234-236.
121. 张文，彭彬，陈智，等 .487 颗下颌前牙根管的弯曲情况研究．口腔医学研究，2005，21（1）：47-49.
122. 皮昕，李秋华，杜昌连，等．恒牙根尖部侧孔形态的显微解剖研究．中华口腔医学杂志，2000，35（3）：218-220.
123. 谢晓莉，彭解英，刘虹，等．前牙髓腔完全钙化的临床研究．临床口腔医学杂志，2003，19（12）：724-725.
124. 仇丽鸿，都婷婷．牙髓腔钙化及治疗．中国实用口腔科杂志，2009，2（10）：591-594.
125. 翁希里，于世宾，赵守亮，等．关中地区汉族成人前牙根管弯曲度调查．实用口腔医学杂志，2007，23（6）：808-810.
126. 崔恺，汪平，王宇．离体下颌前磨牙根管及牙根形态研究．临床口腔医学杂志，2004，20（6）：332-333.
127. 程晓莉，翁雨来．上颌第一前磨牙牙根及根管形态的研究进展．口腔材料器械杂志，2005，14（2）：93-95.
128. 刘娜，王怡舒，张伟玉，等．前磨牙根管形态研究进展．国际口腔医学杂志，2008，35（增刊）：5-7.
129. 陈伟，杨健．上颌第二前磨牙根管峡发生率和位置的研究．实用口腔医学杂志，2007，23（6）：848-851.
130. 皮昕，李春芳，李秋华．上颌第二前磨牙根管和根尖孔解剖及其临床意义．临床口腔医学杂志，1995，11（1）：2-4.
131. 顾卫平．上颌第一前磨牙根管形态的透明牙观察．口腔医学，2000，20（4）：196.
132. 刘兴蓉，杨晓莺．上颌第一前磨牙髓腔解剖及其临床意义．华西口腔医学杂志，1996，14（3）：240.
133. 皮昕，李春芳，刘水清．上颌第一前磨牙根管解剖及其临床意义．湖北医科大学学报，1993，14（4）：311-314.
134. 崔恺，汪平，张明礼．离体的上颌第一前磨牙的根管和牙根情况的研究．实用口腔医学杂志，2005，21（1）：121-123.

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

135. 吴大明，吴友农，梁睿贞 . 上颌第一前磨牙根管颊舌向弯曲情况的研究 . 华西口腔医学杂志，2007，25（2）：149–152.
136. 顾永春，周培刚，刘淑香 . 上颌前磨牙根管壁的扫描观察 . 牙体牙髓牙周病学杂志，2004，14（12）：681–683.
137. 何秉贞，尹兴喆，张成飞 . 不同角度 X 线根尖片诊断下颌前牙、前磨牙多根管的临床评价 . 中华口腔医学杂志，2006，41（3）：160–163.
138. 汪平，王宇，杨亚宁，等 . 离体上颌第二前磨牙根管和牙根情况的研究 . 现代口腔医学杂志，2004，18（6）：562–563.
139. 张鸣，汪平，王宇，等 . 离体下颌前磨牙根管的颊舌向弯曲 . 牙体牙髓牙周病学杂志，2007，17（1）：17–19.
140. 张玉，邓德华 . 下颌第一前磨牙根管系统和根尖孔解剖及临床意义 . 四川解剖杂志，2002，10（4）：202–203.
141. 林正梅，方溢云，凌均棨 . 广东珠江三角洲地区人下颌第一前磨牙根管形态的研究 . 华西口腔医学杂志，2008，26（5）：526–530.
142. 崔恺，汪平，王宇，等 . 离体下颌前磨牙根管及形态研究 . 临床口腔医学杂志，2004，20（6）：332–333.
143. 方溢云，林正梅 . 下颌前磨牙根管解剖形态的相关研究 . 牙体牙髓牙周病学杂志，2006，16（9）：536–539.
144. 顾卫平 . 下颌第二恒磨牙髓底与牙根形态的研究 . 广东牙病防治疗，2000，8（3）：203.
145. 唐道鹤，谢华，周磊，等 . 下颌恒磨牙根管系统形态学比较 . 现代口腔医学杂志，2002，16（3）：219–221.
146. 苏寒，阎翔，王文梅，等 . 上颌第一磨牙弯曲度的实验研究 . 临床口腔医学杂志，2006，22（10）：610–612.
147. 顾迎新，朱亚琴 . 根管弯曲分类与弯曲度测量方法的研究进展 . 上海口腔医学，2002，11（4）：366–368.
148. 袁理，岳林，王嘉德 . 根管弯曲度对根管锉疲劳寿命的影响 . 现代口腔医学杂志，2007，21（6）：630–632.
149. 张翠贤，王宇，袁渝萍 . 再论磨牙髓腔解剖研究及临床意义 . 牙体牙髓牙周病学杂志，1997，7（1）：32–34.
150. 顾永春，皮昕，周培刚，等 .3803 个恒牙侧副管的解剖形态研究 . 临床口腔医学杂志，2004，20（6）：334–338.
151. 邓德华，张孟勇，吴文东，等 . 恒牙根管系统形态学研究 . 四川解剖学杂志，2004，12（1）：22–26.
152. 张颖，银星，吕秋娥 . 蒙古族人 183 颗恒牙根管形态研究 . 现代口腔医学杂志，2003，17（2）：156–158.
153. 陈玉荣，石四箴 . 上颌磨牙近中颊根第二根管的研究现状 . 牙体牙髓牙周病学杂志，2006，16（7）：416–418.
154. 徐琼，凌均棨，黄芳 . 上颌第一磨牙近颊第二根管的临床研究 . 现代口腔医学杂志，2006，20（3）：234–236.
155. 丁月峰，万月祥 . 上颌第一磨牙近中颊根的解剖形态研究 . 牙体牙髓牙周病学杂志，2005，15（10）：556–558.
156. 张成飞，段成钢，丁瑞宇，等 . 中国人群上颌磨牙近中颊根根管形态研究 . 现代口腔医学杂志，2003，17（1）：29–31.
157. 赵燕艳，张兴中，皮昕，等 . 上颌第一磨牙根管口形态、位置的应用解剖 . 临床口腔医学杂志，2002，18（1）：15–17.
158. 朱蔷，李加志，张文清 . 上颌第一恒磨牙髓室底及根尖孔的观察 . 广东牙病防治，2001，9（1）：16–17.
159. 黄政，黄定明，谭红，等 . 上颌第一恒磨牙 80 颗牙体解剖的离体研究 . 实用口腔医学杂志，2004，20（6）：772–774.
160. 张成飞，丁瑞宇，尹兴喆，等 . 上颌磨牙近中颊根第二根管的定位和扩通 . 中华口腔医学杂志，2003，38（2）：86–88.
161. 吴群，忻勤芳，郭戈，等 .127 例磨牙急性牙髓炎治疗的临床评价 . 上海口腔医学，2003，12（4）：300–301.
162. 岳林，韩怡 . 第一恒磨牙根尖区根管自然锥度的研究 . 北京大学学报（医学版），2010，42（1）：20–23.
163. 桂和明，杜丽娟，张建明，等 . 微波对离体牙髓腔温度的影响 . 华西口腔医学杂志，2005，23（3）：217–219.
164. 吴俊，樊明文，范兵，等 . 下颌第一磨牙近中根根管形态的研究 . 口腔医学，2010，26（5）：747–749.
165. 古丽莎，凌均棨，黄湘雅，等 . 成人下颌第一磨牙管间峡区的显微 CT 观察 . 中华口腔医学杂志，2009，44（1）：11–14.
166. 李健，胡万宁，杨冬茹 . 上颌第二磨牙近中颊根第二根管的解剖定位 . 实用口腔医学杂志，2010，26（5）：633–635.
167. 陈红，陈德建，吕桂英 . 第三磨牙形态方位的研究及意义 . 临床口腔医学杂志，2005，21（1）：34–35.
168. 蔡月岚，李萍 . 汉族下颌第三磨牙牙尖与牙根的关系 . 现代口腔医学杂志，1998，12（1）：51–53.
169. 王学理，张虎威 . 上颌第三磨牙的解剖特点对其拔除操作的指导意义 . 北京口腔医学，1998，6（1）：22.
170. 朱霞，孙竞，陈国民 . 上颌第三磨牙的形态观察 . 口腔医学杂志，2002，22（2）：70–71.
171. 赵心臣，聂敏，危薇，等 . 下颌第三磨牙的解剖形态观察 . 口腔医学研究，2005，21（5）：510–512.
172. 蔡月岚，李萍，朱静晓 . 下颌第三磨牙牙尖、阻生类型与牙根的相互关系 . 现代口腔医学杂志，2001，15（2）：135–136.
173. 杜昌连，朱友家 . 第三磨牙的应用解剖研究 . 实用口腔医学杂志，1994，10（1）：22–24.
174. 江茂霞，杜昌连 . 切牙髓腔近远中径的测定 . 口腔医学纵横杂志，1994，10（4）：228–229.
175. 杜昌连，赵燕艳 . 磨牙根分叉度测量及其意义探讨 . 牙体牙髓牙周病学杂志，2002，12（1）：31–33.

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

176. 王宇，汪平，范继红．下颌第一恒磨牙根管弯曲度的研究．牙体牙髓牙周病学杂志，2002，12（9）：493-495.
177. 周磊，臧艳君，由鹏飞．下颌第二磨牙根管显微镜下根管口分型探讨．口腔医学，2007，27（10）：530-531，538.
178. 朱霞．下颌第二磨牙“C”形融合根及其根管形态的观察．上海口腔医学，2002，11（1）：48-49.
179. 梁广智，范兵．C 形根管系统的形态、诊断和治疗．国外医学口腔医学分册，2003，30（5）：396-397.
180. 顾永春，皮昕．下颌第二磨牙根管的解剖形态研究．临床口腔医学杂志，2002，18（3）：167-168.
181. 徐琼，凌均棨，王阿丹，等．下颌第二磨牙根管系统的临床诊断和治疗．牙体牙髓牙周病学杂志，2005，15（1）：32-34..
182. 李云峰．下颌第二磨牙 C 形根管的观察．临床口腔医学杂志，2005，21（4）：215-216.
183. 王春红，张志宏．下颌第二磨牙 C 形根管的临床诊断和治疗．临床口腔医学杂志，2010，26（2）：94-96.
184. 周欣，张成飞，尹兴喆，等．三种方法预备 C 形根管对根管壁切削的比较．实用口腔医学杂志，2009，25（1）：99-102.
185. 唐道鹤，周磊，谢华，等．江西地区人群第 3 磨牙融合根根管系统形态学的研究．广东医学院学报，2002，20（2）：83-84.
186. 顾永春，皮昕．200 颗恒磨牙髓室底得解剖特点．临床口腔医学杂志，2001，17（4）：259-260.
187. 袁理，岳林，王嘉德．根管弯曲度对根管锉疲劳寿命的影响．现代口腔医学杂志，2007，21（6）：630-632.
188. 王晓丽，杨丕山，于英，等．乳牙深龋时冠部牙髓的病理变化和细菌分布．中华口腔医学杂志，2000，35（5）：365-367.
189. 裴传道，郭颖．离体乳磨牙根管数目及其分布的研究．广东牙病防治，1995，3（3）：22-23.
190. 李然，石四箴．牙科三维 CT 研究上颌乳磨牙髓腔．牙体牙髓牙周病学杂志，2006，16（6）：319-322.
191. 郭姜莉，石四箴．牙科三维 CT 研究下颌乳磨牙髓腔．上海口腔医学，2006，29（6）：395-397.
192. 葛立宏，郑树国，张铁军，等．乳磨牙根管口部形态的增龄变化研究．现代口腔医学杂志，2002，16（4）：363-365.
193. 徐琼，肖小芬，周彦夫，等．下颌切牙及下颌第一前磨牙根管形态的体外研究．牙体牙髓牙周病学杂志，2009，19（2）：73-76.
194. 翁希里．关中地区汉族人群恒牙形态学研究（硕士学位论文），2007.
195. 程志刚，苏建，赵燕艳．下颌第二磨牙牙根形态分析及临床意义．临床口腔医学杂志，2009，25（10）：610-611.
196. 范兵，边专，樊明文．牙体牙髓临床治疗 -C 形根管的形态、识别和治疗．中华口腔医学杂志，2006，41（2）：118-120.
197. 范兵，边专，樊明文．牙体牙髓临床治疗 - 根管预备的工作长度、宽度和锥度．中华口腔医学杂志，2006，41（3）：184-187.

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

[General Information 本信息由OnlyDown 1.6秋意版生成]
书名=实用牙髓腔解剖学　供口腔医学类专业用
作者=朱友家主编
页码=261
ISBN=
SS号=13186671
dxNumber=000008397452
出版时间=2012.11
出版社=人民卫生出版社
定价：
试读地址=http://book.duxiu.com/bookDetail.jsp?dxNumber=000008397452&d=471B4D6989F7C1E9136452079353E9E3&fenlei=1606020206&sw=%CA%B5%D3%C3%D1%C0%CB%E8%C7%BB%BD%E2%C6%CA%D1%A7
全文地址=7b39fd335f96bceaa88965a236f97ba6/img17/C5F026043ACED234E3EC72974FEC5FE34E4FA3BE4EA529FC6FE20E0D35E4487A5D482CE45162F232BE7ADDCFF8FF34F63521C4934CACAB522B90835399F9E87C51F1149854CE9B8F66FC248A10F0CF457C402D80C4F2611037230F2CF9EDC6D5A3E516769F8E1CC46FB432392528E2678FC4/b13/qw/

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

封面
书名
版权
前言
目录
第一章　牙髓腔概论
第一节　牙髓腔的基本形态及特征
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧副孔
第二节　牙组织增龄变化和病理性牙根吸收
一、牙髓增龄期变化
二、牙本质增龄期变化
三、牙骨质增龄期变化
四、病理性牙根吸收
第二章　牙的发育
第一节　牙的早期发育
一、牙发育的蕾状期、帽状期和钟状期
二、牙发育早期的临时性结构
三、牙发育中上皮-间充质的相互作用
四、牙发育的分子调控
第二节　釉质的发生
一、成釉细胞的生命周期
二、发育中釉质的蛋白质
三、釉质的矿化
四、釉质形成缺陷
第三节　牙本质的发生
一、成牙本质细胞的分化
二、牙本质基质的沉积
三、牙本质的矿化
第四节　牙髓的发育
第五节　牙根的发育
一、根部牙本质的形成
二、根部牙本质形成异常
第三章　牙髓牙本质的结构与功能
第一节　牙髓的结构与功能
一、牙髓形态学分层
二、牙髓细胞
三、牙髓细胞间质
四、牙髓的代谢
五、牙髓的微循环
六、牙髓的神经支配
七、牙髓的修复
第二节　牙本质的结构与功能
一、牙本质的结构
二、牙本质有机基质
三、牙本质液和牙本质渗透性
第四章　显示牙髓腔的方法
第一节　显示牙髓腔的破坏性方法
一、透明法
二、磨片法和连续断层切片法
三、铸型法
四、组织切片法
第二节　显示牙髓腔的非破坏性方法
一、X线根尖片技术
二、锥形束CT技术
三、Micro-CT技术
第五章　上颌前牙髓腔形态
第一节　上颌中切牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

三、根尖孔与侧孔
第二节　上颌侧切牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧孔
第三节　上颌尖牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧孔
第六章　下颌前牙髓腔形态
第一节　下颌中切牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧孔
第二节　下颌侧切牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧孔
第三节　下颌尖牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧孔
第七章　上颌前磨牙髓腔形态
第一节　上颌第一前磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧副孔
第二节　上颌第二前磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧孔
第八章　下颌前磨牙髓腔形态
第一节　下颌第一前磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧孔
第二节　下颌第二前磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧孔
第九章　上颌磨牙髓腔形态
第一节　上颌第一磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧副孔
第二节　上颌第二磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧副孔
第三节　上颌第三磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧副孔
第十章　下颌磨牙髓腔形态
第一节　下颌第一磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧副孔
第二节　下颌第二磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注

三、根尖孔与侧副孔
第三节　下颌第三磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧副孔
第十一章　乳牙髓腔形态
第一节　上颌乳前牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧孔
第二节　下颌乳前牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧孔
第三节　上颌乳磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧副孔
第四节　下颌乳磨牙髓腔形态
一、髓室
二、根管系统
三、根尖孔与侧副孔
第十二章　牙髓腔形态与根管治疗
第一节　牙髓腔解剖形态与应用
一、上颌前牙髓腔解剖特点与根管预备
二、上颌前磨牙髓腔解剖特点与根管预备
三、上颌磨牙髓腔解剖特点与根管预备
四、下颌前牙髓腔解剖特点与根管预备
五、下颌前磨牙髓腔解剖特点与根管预备
六、下颌磨牙髓腔解剖特点与根管预备
第二节　根管预备
一、根管预备的工作长度、宽度和锥度
二、根管预备的基本要求
三、根管预备的方法
四、根管预备的器械
五、根管冲洗
六、根管预备过程中发生的问题与对策
第三节　根管充填
一、根管充填的标准
二、根管充填的时机
三、根管充填的方法
四、根管充填技术中的问题与对策
五、根管充填失败的原因分析
附典型病例
参考文献

公众号里每天更新正畸、修复等临床操作视频
口腔视频，微信公众号里搜索qzkqsp1（茄子口腔视频1首字母）即可关注